

黄土高原不同纬度下刺槐林土壤 生态化学计量学特征研究*

张向茹¹ 马露莎¹ 陈亚南¹ 杨佳佳¹ 安韶山^{1,2†}

(1 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨陵 712100)

(2 西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨陵 712100)

摘 要 为了阐明黄土高原刺槐林土壤生态化学计量学特征随纬度的变化规律,对黄土高原由南向北 13 个县刺槐林下的土壤碳、氮、磷化学计量学特征进行了测定与分析。结果表明:(1)阳坡 0~10 cm 土壤 C:N 比、C:P 比、N:P 比的变化范围分别为 9.48~15.33、8.93~59.79、0.77~5.11,10~20 cm 土壤分别为 9.13~13.57、7.85~37.69、0.44~3.19;阴坡 0~10 cm 土壤 C:N 比、C:P 比、N:P 比分别为 8.58~13.75、9.46~47.71、0.76~3.63,10~20 cm 土壤分别为 7.60~13.41、5.99~31.28、0.54~2.65。(2)土壤全氮的空间分布与有机碳具有一致性,均随纬度的升高呈指数减小的趋势,表层大于表下层,且随着纬度的升高该差异逐渐减小;全磷的空间变异性低于有机碳和全氮,研究区内土壤全磷含量随纬度的升高呈先增加后减小的趋势。(3)土壤 C:N 比随纬度的升高无明显变化趋势,而 C:P 比和 N:P 比随纬度的升高显著减小;土壤 C:N:P 比均随着土层增加而减小,但差异不显著。

关键词 土壤碳、氮、磷;生态化学计量学;刺槐;黄土高原;纬度

中图分类号 S154.1 **文献标识码** A

生态化学计量学结合了生物学、化学和物理学等基本原理,是研究生物系统能量平衡和多重化学元素(主要是 C、N、P)平衡的科学^[1]。近年来,由于认识到化学计量学研究可以把生物学科不同层次(分子、细胞、有机体、种群、生态系统和全球尺度)在元素水平上统一起来^[2],因此生态化学计量学已成为许多生态系统的新兴研究工具。目前,生态化学计量学已广泛应用于种群动态、生物体营养动态、微生物营养、寄主-病原关系、生物共生关系、消费者驱动的养分循环、限制性元素的判断、生态系统比较分析和森林演替与衰退及全球 C、N、P 生物地球化学循环等研究中,并取得了许多研究成果^[3]。其中,C:N:P 化学计量学是各种生态过程研究中的核心内容,已深入到生态学的各个层次(细胞、个体、种群、群落、生态系统)及区域等不同尺度^[2]。

但生态化学计量学理论的提出、验证和丰富大

都是基于对海洋生物的研究获得的,对于陆地生物的研究很少,因此,对陆地生物进行进一步研究,使这一理论得以最终验证和确立显得尤为重要^[2-3]。土壤 C:N:P 比是反映土壤内部碳、氮、磷循环的主要指标,综合了生态系统功能的变异性,容易测量,而且有助于确定生态过程对全球变化的响应^[1]。

目前对于黄土高原刺槐林地土壤养分的相关研究已有所报道,但主要集中于与其他林地类型的比较^[4-5],不同林龄、土层间的差异^[6-7],对深层土壤有机碳的影响^[8-9]等方面,而从生态化学计量学角度对不同纬度下刺槐林土壤的相关研究还未见报道。研究表明,由于刺槐属于速生强耗水树种,水分成为影响黄土高原地区刺槐生长的最主要因素,随着由南向北降雨量的变化,刺槐的生长在不同地区表现不一^[10]。因此,了解不同纬度下刺槐林的土壤状况,有助于对不同地区刺槐林的管理提出更加有针对性的建议。本研究通过对陕北黄土高原区

* 国家自然科学基金面上项目(41171226)、国家自然科学基金重点基金项目(41030532)和西北农林科技大学“优秀人才科研专项(QN2011049)”资助

† 通讯作者:安韶山(1972—),男,博士,副研究员,主要从事植被恢复与土壤质量评价研究。E-mail: shan@ms.iswc.ac.cn

作者简介:张向茹(1988—),女,河北唐山人,硕士研究生,主要从事土壤生态学研究。E-mail: xiangruzhang@126.com

收稿日期:2012-10-13;收到修改稿日期:2013-03-01

13 个县区的刺槐林下土壤进行采样分析,研究刺槐林土壤碳、氮、磷生态化学计量学特征随纬度变化的空间变异性,以求为不同地区刺槐林的综合管理与利用提供科学依据,并为我国土壤生态化学计量学特征的区域性变化研究提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区地处北纬 $34^{\circ}43'$ ~ $38^{\circ}48'$ 之间,属大陆性半湿润季风气候,年平均气温 $8 \sim 9^{\circ}\text{C}$,年降雨量 $550 \sim 650 \text{ mm}$,降雨多集中在 7 月-8 月。地貌为黄土塬梁丘陵沟壑地貌。采样地点由南到北依次为三原县、淳化县、耀州区、宜君县、黄陵县、洛川县、富县、甘泉县、宝塔区、安塞县、米脂县、榆阳区、神木县(图 1)。

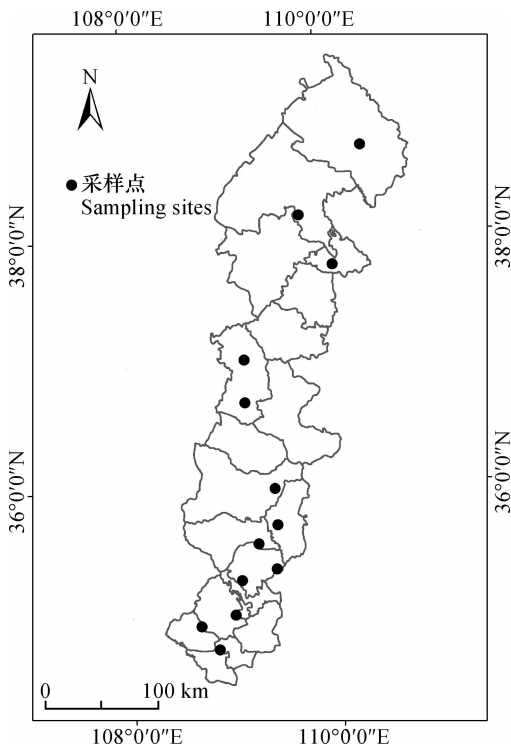


图 1 采样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling sites

刺槐(*Robinia pseudoacacia*)是黄土高原主要的造林树种之一。由于其适应性强、生长快、繁殖容易、耐干旱贫瘠等特点,成为水土保持的先锋树种^[11]。在 20 世纪 70 年代末至 80 年代初,陕北黄土高原从南到北进行了大面积的栽植,对改善这一地区的生态环境、防治水土流失,乃至调节黄河流域的水文状况发挥了重要作用^[12]。

1.2 土壤样品采集与测定

在研究区内选取平均林龄约 20 a 的刺槐人工林作为研究对象,且生长坡位相似,林相整齐、林木分布均匀。每个采样点设置阴阳两个坡面作为对照采集(榆阳区只有阳坡),样方设置为 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 。在样方内从坡上到坡下按“S”型方法选择 5 个点进行采样,用土钻分别采集 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 和 $10 \sim 20 \text{ cm}$ 两层土样,分层将 5 点土样混和均匀后装入塑料自封袋。每个样方设 2 个重复。

样品采回后,于室内自然风干,磨细后过 0.15 mm 筛,装入塑封袋中备用。土壤有机碳、全磷和全氮分别采用重铬酸钾外加热法、 $\text{HClO}_4 - \text{H}_2\text{SO}_4$ 法及凯氏定氮法进行测定^[13]。

1.3 数据处理

本研究中土壤 C:N:P 比均为元素摩尔比;所得实验数据在 Excel 2003 统计软件中进行整理和作图;采用 SPSS18.0 软件对土层间的效应以及曲线的拟合进行显著性分析。

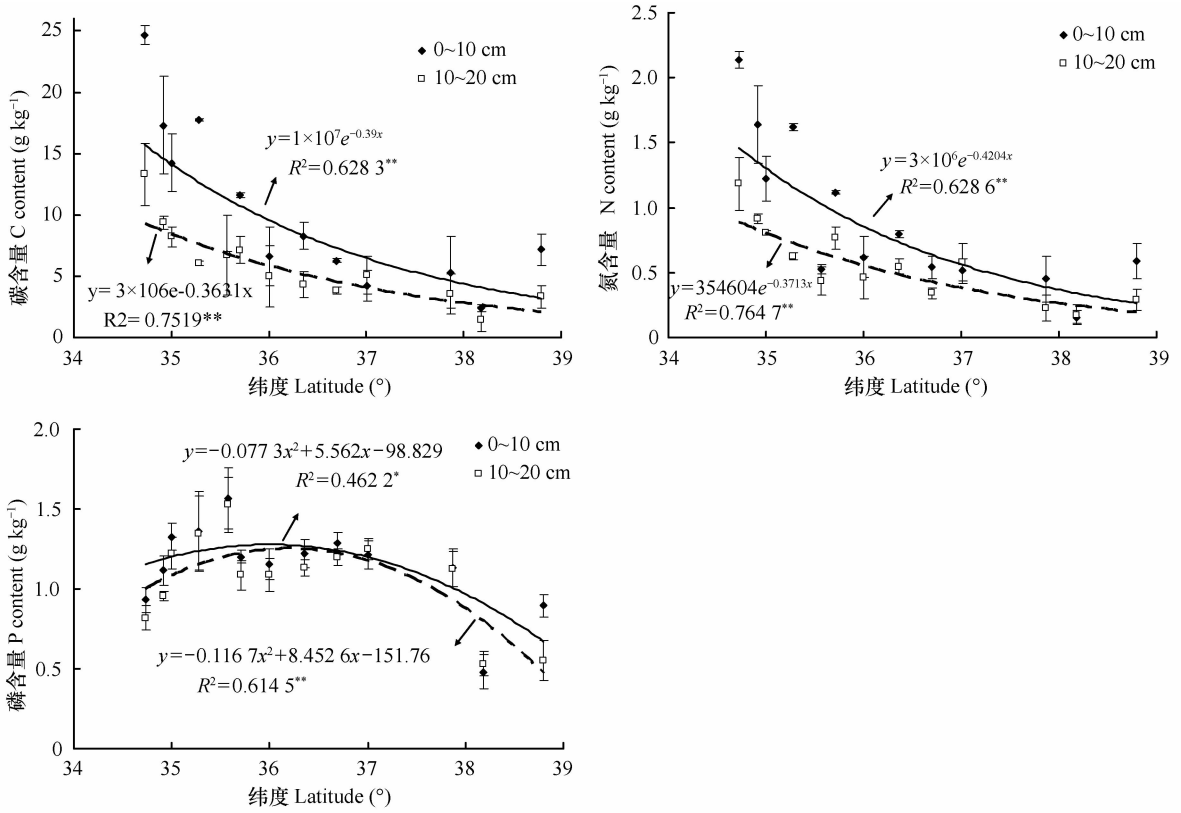
2 结果

2.1 土壤碳、氮、磷含量及其随纬度的变化趋势

如图 2 所示,阳坡 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 土层土壤碳、氮、磷含量的变化范围分别为 $2.40 \sim 24.62$ 、 $0.16 \sim 2.14$ 、 $0.48 \sim 1.56 \text{ g kg}^{-1}$,平均值分别为 10.20 、 0.92 、 1.14 g kg^{-1} ,变异系数分别为 63.7% 、 63.8% 、 23.1% ; $10 \sim 20 \text{ cm}$ 土层土壤碳、氮、磷含量的变化范围分别为 $1.48 \sim 13.3$ 、 $0.18 \sim 1.18$ 、 $0.53 \sim 1.53 \text{ g kg}^{-1}$,平均值分别为 5.95 、 0.57 、 1.06 g kg^{-1} ,变异系数分别为 51.9% 、 51.7% 、 27.1% ,磷的空间变异性低于碳和氮。

图 3 显示,阴坡 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 土层土壤碳、氮、磷含量的变化范围分别为 $4.39 \sim 16.64$ 、 $0.41 \sim 1.74$ 、 $0.77 \sim 1.61 \text{ g kg}^{-1}$,平均值分别为 9.62 、 0.93 、 1.19 g kg^{-1} ,变异系数分别为 43.4% 、 48.2% 、 21.0% ; $10 \sim 20 \text{ cm}$ 土层土壤碳、氮、磷含量的变化范围分别为 $2.93 \sim 9.74$ 、 $0.31 \sim 1.28$ 、 $0.70 \sim 1.45 \text{ g kg}^{-1}$,平均值分别为 6.01 、 0.62 、 1.10 g kg^{-1} ,变异系数分别为 35.4% 、 47.3% 、 23.3% ,氮的空间变异性最大,磷的变异性最小。在阴坡和阳坡,表层与表下层间土壤有机碳含量的差异达显著水平($p < 0.05$),而全氮和全磷含量差异不显著。

整体来看,土壤有机碳和全氮含量具有类似的变化规律,均由南向北呈现逐渐降低的趋势,且曲线拟合均达极显著水平($p < 0.01$)。表层土壤有机



注: **表示曲线拟合达极显著水平 ($p < 0.01$); *表示曲线拟合达显著水平 ($p < 0.05$); 下同 Note: ** denotes very significant difference at 0.01 level; * denotes significant difference at 0.05 level. The same below

图2 阳坡土壤碳、氮、磷含量随纬度的变化规律

Fig. 2 Variation of soil C, N and P contents in soils on sunny slopes with latitude

碳和全氮含量的变异系数较表下层大,在南部,表层和表下层之间的碳、氮含量差异较大,至北部,该差异逐渐减小。土壤全磷含量与碳和氮含量不同,由南向北呈先增加后减小的趋势,于黄陵点时达到最大,曲线拟合在阳坡达显著水平 ($p < 0.05$),阴坡不显著。

2.2 土壤碳、氮、磷生态化学计量学特征随纬度的变化

如图4所示,阳坡0~10 cm土层土壤C:N比为9.48~15.33,平均值为12.92,变异系数为10.7%;C:P比为8.93~59.79,平均值为22.85,变异系数为63.3%;N:P比为0.77~5.11,平均值为1.88,变异系数为71.3%。10~20 cm土层土壤C:N比为9.13~13.57,平均值为11.91,变异系数为11.2%;C:P比为7.85~37.69,平均值为14.48,变异系数为58.4%;N:P比为0.44~3.19,平均值为1.24,变异系数为59.2%。

图5显示,阴坡0~10 cm土层土壤C:N比为8.58~13.75,平均值为12.53,变异系数为11.6%;C:P比为9.46~47.71,平均值为21.90,变异系数为54.7%;N:P比为0.76~3.63,平均值为1.78,变异系数为52.0%。10~20 cm土层土壤C:N比为7.60~13.41,平均值为11.77,变异系数为13.5%;C:P比为5.99~31.28,平均值为14.72,变异系数为49.6%;N:P比为0.54~2.65,平均值为1.25,变异系数为52.8%。

土壤C:N比随纬度的空间变异性最小,C:P比和N:P比相差不大。土壤C:N比由南向北没有明显的变化趋势,曲线拟合不显著 ($p > 0.05$);土壤C:P比和N:P比的规律类似,由南向北逐渐减小,且曲线拟合均达显著水平 ($p < 0.05$),其中阴坡达极显著水平 ($p < 0.01$)。表层土壤C:N:P比均大于表下层,但差异不显著,表层C:P比和N:P比与表下层间的差异由南向北逐渐减小。

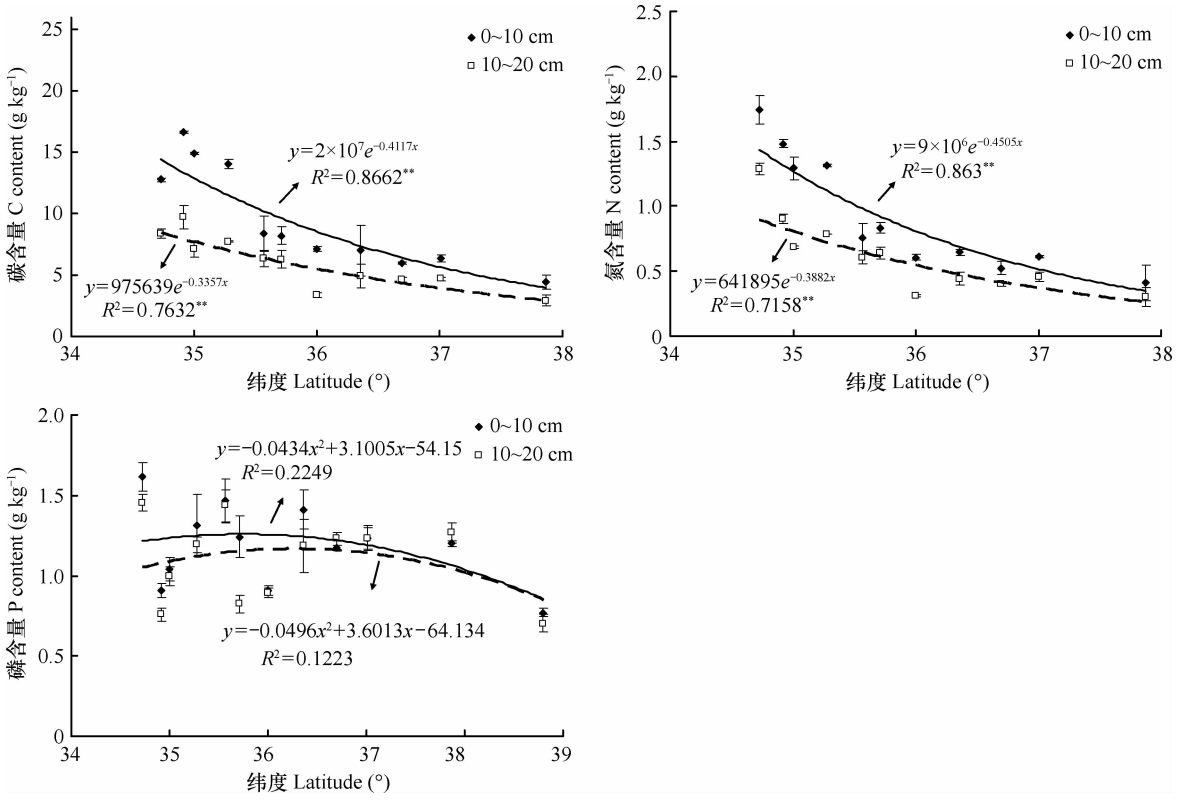


图3 阴坡土壤碳、氮、磷含量随纬度的变化规律

Fig. 3 Variation of soil C, N and P contents in soils on shady slopes with latitude

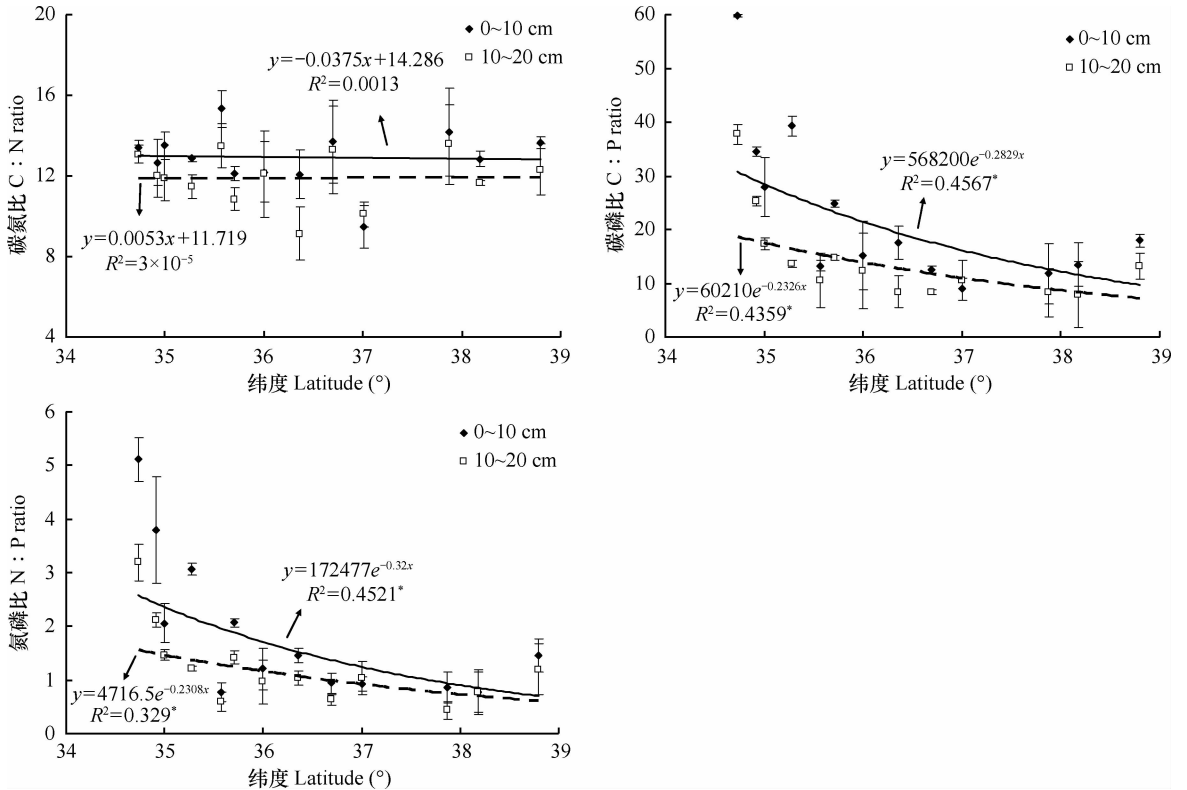


图4 阳坡土壤碳氮磷比随纬度的变化规律

Fig. 4 Variation of soil C: N; P in soils on sunny slopes with latitude

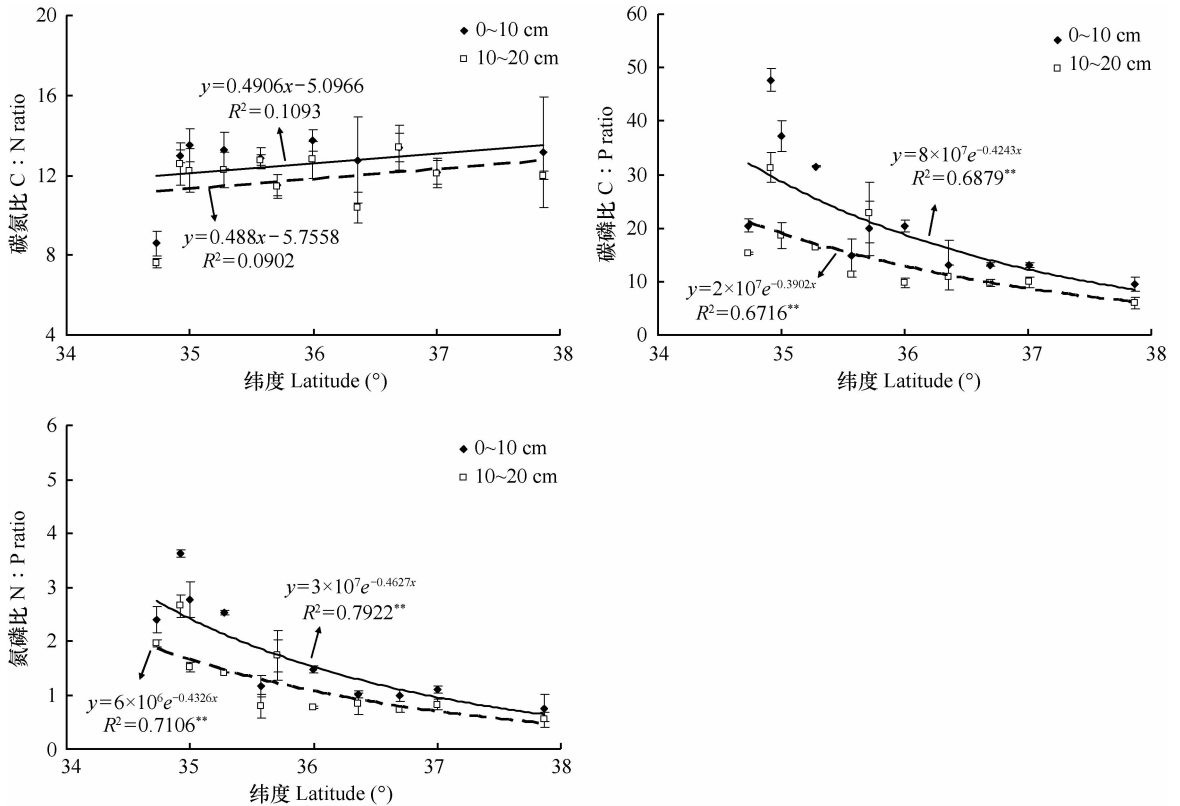


图5 阴坡土壤碳氮磷比随纬度的变化规律

Fig. 5 Variation of soil C: N; P in soils on shady slopes with latitude

3 讨论

3.1 纬度差异对土壤碳、氮、磷含量的影响

本研究中土壤有机碳和全氮含量随纬度的升高呈指数减小的趋势,这一结果与相关研究一致^[14-17]。土壤全氮主要来源于土壤植物残体分解与合成所形成的有机质^[17],因此土壤全氮的空间分布与有机质具有一致性。气候条件和植物生产力的综合作用决定了有机质和氮素的累积和分布规律,一般认为,湿润地区的土壤有机质累积相对较快^[18],该条件下较强的生物循环过程及气候条件更有利于有机质积累。黄土高原年平均降水量从东南至西北逐渐递减^[19],且年平均气温逐渐降低。刺槐作为落叶阔叶树,每年向林地提供大量的凋落物^[20],由南向北,随着降水量和温度的降低,植被茂盛程度较小,致使输入到土壤中的有机质减少^[15],因此使土壤有机碳和全氮含量呈现出减小的趋势。

土壤表层的有机碳和全氮含量均大于表下层,这已被很多研究所证明^[17,21-22]。气候和植被是影响有机碳垂直分布的主要因素^[14],在地表形成的枯枝

落叶层是表层土壤有机碳和全氮的重要来源^[23-24],植物残体首先进入土壤表层,且地下90%的生物量都集中在0~10 cm的表土层,因此,表层土壤有机碳和全氮的含量相对较高。而随着纬度的升高,水热条件的缺失,致使进入表层的植物残体减少,导致由南向北表层与表下层土壤有机碳和全氮的差异逐渐减小。阳坡干燥,土壤有机质分解较快,其有机质和全氮含量整体上应低于阴坡^[25],在本研究中,该规律体现得并不明显。

土壤全磷的空间变异性低于有机碳和全氮,这是因为磷素是一种沉积性的矿物,在土壤中磷元素的迁移率很低,因此全磷在整个空间中的分布较为均匀^[26-27],土壤表层与表下层,阴坡与阳坡的全磷差异均不明显。土壤中磷的含量受母质、气候、生物和土壤中的地球化学过程等一系列因素的影响。气候是影响全磷空间分布的重要因素,高温和多雨加快土壤的风化速率和磷元素的淋溶,从而导致了土壤全磷含量的降低,因此全磷含量随着年均降水量和年均温的增加而降低。除气候外,土壤母质也深刻地影响着土壤全磷的含量^[28]。

本研究中土壤全磷含量随纬度的升高呈先增

加后减小的趋势,可能是由于土壤全磷含量主要受水热条件的影响,随着由南向北温度和降水量的减小,土壤的风化速率和磷元素的淋溶逐渐减小,因此全磷含量逐渐增加。而随着纬度增加到一定程度,该区土壤类型由黄土转变为砂黄土^[15],此时全磷的含量主要受土壤性质的影响,随着纬度的升高,越来越多的砂土占据了表土的主要成分,土壤总体养分含量逐渐减少。

3.2 纬度差异对土壤生态化学计量学特征的影响

本研究中土壤 C:N 比随纬度的升高没有明显的趋势变化,变异系数平均只有 11.2%。这是由于土壤全氮和有机碳的空间分布具有一致性,因此导致土壤的 C:N 比在整个空间内较为稳定,该结论已在本研究中得到很好的证明。Tian 等^[29]在对全国土壤 C:N:P 比的研究中也指出,虽然碳和氮含量具有较大的空间变异性,但 C:N 比相对稳定,受气候的影响很小。而本研究中 C:N 比之所以有增加的趋势,可能是由于在本研究区内,随着纬度的增加,土壤全氮含量减小的速度稍大于有机碳造成的。

土壤 C:P 比和 N:P 比空间变异性较 C:N 比大,随纬度的升高呈指数减小的趋势,这主要是受水热条件变化的影响。湿热地区磷淋溶强烈,并且该区域的高生产力致使土壤碳和氮含量较高,因此导致 C:P 比、N:P 比较高,而干冷地区则与之相反。Reich 等^[30]也通过研究指出,由于磷在赤道土壤中是主要的限制元素,而氮在高纬度土壤中是主要的限制性元素,因此土壤 N:P 比随纬度的升高呈逐渐减小的趋势。土壤中的氮、磷是植物生长所必需的矿质营养元素和生态系统中最常见的限制性元素^[2],研究指出,磷的有效性是由土壤有机质的分解速率确定的,较低的 C:P 比是磷有效性高的一个指标^[1]。因此,研究区内南部刺槐林土壤与北部相比更容易受磷的限制。对南部地区刺槐林更应注意磷肥的施用,而北部刺槐林应注意氮肥的施用。但若想进一步确定研究区刺槐是受氮或者磷的限制,还要对刺槐叶片 N:P 比进行研究,以确定刺槐的养分限制类型^[1],进而可对刺槐林进行更好地管理。

表土层的 C:N:P 比均大于表下层,但差异均不显著。方差分析结果显示,表层与表下层间土壤有机碳含量的差异达显著水平,而全氮含量差异不显著,土壤有机碳含量下降幅度大于全氮含量,因此土壤 C:N 比随着土层的增加而降低。而 C:P 比与 N:P 比随土层的增加而减小则是由于土壤有机碳和

全氮含量随着土层的增加逐渐减小,而全磷含量则较为稳定。此外,随着由南向北表层与表下层间有机碳和全氮含量差异逐渐减小,致使表层与表下层间 C:P 比和 N:P 比的差异也随纬度的增加而逐渐减小。

4 结 论

刺槐林下土壤有机碳和全氮含量均随纬度的升高呈指数减小的趋势,土壤全氮的空间分布与有机碳具有一致性。全磷在整个空间中的分布较为均匀,其空间变异性低于有机碳和全氮,研究区内全磷含量随纬度的升高呈先增加后减小的趋势。土壤 C:N 比受气候的影响很小,在整个空间内相对稳定,C:N 比随纬度的升高没有明显的变化趋势。而受水热条件的影响,C:P 比和 N:P 比随纬度的升高呈显著减小的趋势;随着纬度的增加,表层与表下层间有机碳和全氮的差异逐渐减小,致使表层与表下层间 C:P 比和 N:P 比的差异也随纬度增加而减小。

参 考 文 献

- [1] 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. 生态学报, 2008, 28(8): 3937-3947. Wang S Q, Yu G R. Ecological stoichiometry characteristics of ecosystem carbon, nitrogen and phosphorus elements (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3937-3947
- [2] 程滨,赵永军,张文广,等. 生态化学计量学研究进展. 生态学报, 2010, 30(6): 1628-1637. Cheng B, Zhao Y J, Zhang W G, et al. The research advances and prospect of ecological stoichiometry (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(6): 1628-1637
- [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. 植物生态学报, 2005, 29(6): 1007-1019. Zeng D H, Chen G S. Ecological stoichiometry: A science to explore the complexity of living systems (In Chinese). Acta Phytocologica Sinica, 2005, 29(6): 1007-1019
- [4] 郑顺安,常庆瑞. 黄土高原不同类型人工林对土壤肥力的影响. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2006, 34(2): 119-123. Zheng S A, Chang Q R. The influence of different plantations on the soil fertility on Loess Plateau (In Chinese). Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2006, 34(2): 119-123
- [5] 张玉宏,张景群,王超. 黄土高原毛白杨、刺槐人工林对土壤养分的影响. 西北林学院学报, 2011, 26(5): 12-18. Zhang Y H, Zhang J Q, Wang C. Impact on soil nutrient of *Populus tomentosa* and *Robinia pseudoacacia* plantations in Loess Plateau (In Chinese). Journal of Northwest Forestry University,

- 2011, 26(5): 12—18
- [6] 张景群, 苏印泉, 徐喜明, 等. 黄土高原人工刺槐林土壤有机碳动态监测研究. 西北林学院学报, 2009, 24(5): 21—25. Zhang J Q, Su Y Q, Xu X M, et al. Dynamic monitoring of organic carbon in the black locust plantation in Loess Plateau (In Chinese). Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(5): 21—25
- [7] 刘迎春, 王秋风, 于贵瑞, 等. 黄土丘陵区两种主要退耕还林树种生态系统碳储量及固碳潜力. 生态学报, 2011, 31(15): 4277—4286. Liu Y C, Wang Q F, Yu G R, et al. Ecosystems carbon storage and carbon sequestration potential of two main tree species for the grain for green project on China's hilly Loess Plateau (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(15): 4277—4286
- [8] 王征, 刘国彬, 许明祥. 黄土丘陵区植被恢复对深层土壤有机碳的影响. 生态学报, 2010, 30(14): 3947—3952. Wang Z, Liu G B, Xu M X. Effect of revegetation on soil organic carbon concentration in deep soil layers in the hilly Loess Plateau of China (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(14): 3947—3952
- [9] 马昕昕, 许明祥, 杨凯. 黄土丘陵区刺槐林深层土壤有机碳矿化特征初探. 环境科学, 2012, 33(11): 3893—3900. Ma X X, Xu M X, Yang K. Soil organic carbon mineralization of black locust forest in the deep soil layer of the hilly region of the Loess Plateau, China (In Chinese). Environmental Science, 2012, 33(11): 3893—3900
- [10] 薛敏, 张文辉, 杜盛. 黄土高原刺槐群落优势植物水分生理生态研究. 西北林学院学报, 2011, 26(1): 27—34. Xue M, Zhang W H, Du S. Water physio-ecology of 12 dominant species in the *Robinia pseudoacacia* community in Yan'an Gonglu Mountain (In Chinese). Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(1): 27—34
- [11] 张社奇, 王国栋, 刘建军, 等. 黄土高原刺槐林地土壤水分物理性质研究. 西北林学院学报, 2004, 19(3): 11—14. Zhang S Q, Wang G D, Liu J J, et al. Soil hydro-physical properties of *Robinia pseudoacacia* plantation forestland in Loess Plateau (In Chinese). Journal of Northwest Forestry University, 2004, 19(3): 11—14
- [12] 王力, 邵明安, 李裕元. 陕北黄土高原人工刺槐林生长与土壤干化的关系研究. 林业科学, 2004, 40(1): 84—91. Wang L, Shao M A, Li Y Y. Study on relationship between growth of artificial *Robinia pseudoacacia* plantation and soil desiccation in the Loess Plateau of northern Shaanxi Province (In Chinese). Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(1): 84—91
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000. Bao S D. Agricultural chemistry analysis of soil (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2000
- [14] Yang Y H, Mohammad A, Feng J M, et al. Storage, patterns and environmental controls of soil organic carbon in China. Biogeochemistry, 2007, 84(2): 131—141
- [15] 涂夏明, 曹军骥, 韩永明, 等. 黄土高原表土有机碳和无机碳的空间分布及碳储量. 干旱区资源与环境, 2012, 26(2): 114—118. Tu X M, Cao J J, Han Y M, et al. Storage and spatial distribution of organic and inorganic carbon in the topsoil of Loess Plateau (In Chinese). Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(2): 114—118
- [16] Wu H B, Guo Z T, Peng C H, et al. Land use induced changes of organic carbon storage in soils of China. Global Change Biology, 2003, 9(3): 305—315
- [17] 党亚爱, 李世清, 王国栋, 等. 黄土高原典型土壤全氮和微生物氮剖面分布特征研究. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6): 1020—1027. Dang Y A, Li S Q, Wang G D, et al. Distribution characteristics of soil total nitrogen and soil microbial biomass nitrogen for the typical types of soils on the Loess Plateau (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(6): 1020—1027
- [18] 白红军, 邓伟, 朱颜明, 等. 霍林河流域湿地土壤碳氮空间分布特征及生态效应. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1494—1498. Bai J H, Deng W, Zhu Y M, et al. Spatial distribution characteristics and ecological effects of carbon and nitrogen of soil in Huolin River catchment wetland (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(9): 1494—1498
- [19] 刘引鸽. 陕北黄土高原降水的变化趋势分析. 干旱区研究, 2007, 24(1): 49—55. Liu Y G. Analysis on the change trend of precipitation in north Shaanxi Province in the Loess Plateau (In Chinese). Arid Zone Research, 2007, 24(1): 49—55
- [20] 张社奇, 王国栋, 张蕾. 黄土高原刺槐林对土壤养分时空分布的影响. 水土保持学报, 2008, 22(5): 91—95. Zhang S Q, Wang G D, Zhang L. Time-space distributive feature of soil nutrient and chemical characteristics of *Robinia pseudoacacia* L. plantation forestland in Loess Plateau (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(5): 91—95
- [21] 贺亮, 苏印泉, 季志平, 等. 黄土高原沟壑区刺槐、油松人工林的碳储量及其分布特征研究. 西北林学院学报, 2007, 22(4): 49—53. He L, Su Y Q, Ji Z P, et al. Studies on the carbon storage and distributive character of *Robinia* and *Pinus* in Loess Plateau gully area (In Chinese). Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(4): 49—53
- [22] 王凯博, 时伟宇, 上官周平. 黄土丘陵区天然和人工植被类型对土壤理化性质的影响. 农业工程学报, 2012, 28(15): 80—86. Wang K B, Shi W Y, Shanguan Z P. Effects of natural and artificial vegetation types on soil properties in Loess Hilly region (In Chinese). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(15): 80—86
- [23] 方晰, 田大伦, 项文化, 等. 杉木人工林土壤有机碳的垂直分布特征. 浙江林学院学报, 2004, 21(4): 418—423. Fang X, Tian D L, Xiang W H, et al. Vertical distribution of soil organic carbon in *Cunninghamia lanceolata* plantation (In Chinese). Journal of Zhejiang Forestry College, 2004, 21(4): 418—423
- [24] 李金芬, 程积民, 刘伟, 等. 黄土高原云雾山草地土壤有机碳、全氮分布特征. 草地学报, 2010, 18(5): 661—668. Li J F, Cheng J M, Liu W, et al. Distribution of soil organic carbon and total nitrogen of grassland in Yunwu Mountain of Loess Plateau (In Chinese). Acta Agrestia Sinica, 2010, 18(5): 661—668

- [25] 连纲, 郭旭东, 傅伯杰, 等. 黄土高原县域土壤养分空间变异特征及预测——以陕西省横山县为例. 土壤学报, 2008, 45(4): 577—584. Lian G, Guo X D, Fu B J, et al. Spatial variability and prediction of soil nutrients on a county scale on the Loess Plateau: A case study of Hengshan County, Shaanxi Province (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(4): 577—584
- [26] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 黄土高原小流域土壤养分的时空变异及其影响因子. 自然科学进展, 2004, 14(3): 294—299. Qiu Y, Fu B J, Wang J, et al. Spatiotemporal variation and influencing factors of soil nutrients of small watershed in Loess Plateau (In Chinese). Progress in Natural Science, 2004, 14(3): 294—299
- [27] 王国梁, 刘国彬, 许明祥. 黄土丘陵区纸坊沟流域植被恢复的土壤养分效应. 水土保持通报, 2001, 22(1): 1—5. Wang G L, Liu G B, Xu M X. Effect of vegetation restoration on soil nutrient changes in Zhifanggou watershed of Loess Hilly Region (In Chinese). Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 22(1): 1—5
- [28] 汪涛, 杨元合, 马文红. 中国土壤磷库的大小、分布及其影响因素. 北京大学学报: 自然科学版, 2008, 44(6): 945—952. Wang T, Yang Y H, Ma W H. Storage, patterns and environmental controls of soil phosphorus in China (In Chinese). Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2008, 44(6): 945—952
- [29] Tian H, Chen G, Zhang C, et al. Pattern and variation of C:N:P ratios in China's soils: A synthesis of observational data. Biogeochemistry, 2010, 98(1/3): 139—151
- [30] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, 101(30): 11001—11006

ECOLOGICAL STOICHIOMETRY CHARACTERISTICS OF *ROBINIA PSEUDOACACIA* FOREST SOIL IN DIFFERENT LATITUDES OF LOESS PLATEAU

Zhang Xiangru¹ Ma Lusha¹ Chen Yanan¹ Yang Jiajia¹ An Shaoshan^{1,2†}

(¹ College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

(² State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract To explore effect of latitude on ecological stoichiometry characteristics of *Robinia pseudoacacia* forest soil on the Loess Plateau, soil samples were collected from *Robinia pseudoacacia* forests in 13 counties distributed from south to north in Northern Shaanxi for analysis of soil C, N and P stoichiometry. Results show that (1) on sunny slopes, the ranges of soil C:N, C:P, N:P ratios varied in the range of 9.48 ~ 15.33, 8.93 ~ 59.79 and 0.77 ~ 5.11 respectively, in the 0 ~ 10cm soil layers and in the range of 9.13 ~ 13.57, 7.85 ~ 37.69 and 0.44 ~ 3.19, respectively, in the 10 ~ 20cm soil layer, while on shady slopes, they did in the range of 8.58 ~ 13.75, 9.46 ~ 47.71 and 0.76 ~ 3.63, respectively, in the top soil layers and in the range of 7.60 ~ 13.41, 5.99 ~ 31.28 and 0.54 ~ 2.65, respectively, in the 10 ~ 20cm soil layers. (2) Soil organic carbon and soil total N were quite consistent in spatial distribution, showing the same trend of declining exponentially with rising latitude and they were higher in the surface layers than in the subsurface layers, and the difference narrowed with rising latitude; Total P was lower than SOC and total N in spatial variability, showing a trend of rising first and then declining with latitude in the studied area. (3) Soil C:N ratio did not change much with latitude, while soil C:P and N:P ratios decreased significantly with rising latitude; and soil C:N:P ratio was higher in the topsoil layers than in the subsurface soil layer, but the difference was not significant.

Key words Soil carbon, nitrogen, phosphorus; Ecological stoichiometry; *Robinia pseudoacacia*; Loess Plateau; Latitude

(责任编辑: 檀满枝)