

文章编号: 1000-5862(2013)03-0310-06

闽北 3 种人工林土壤游离氨基酸组成及其差异研究

郭新春^{1,2}, 曹裕松³, 邢世和^{1*}

(1. 福建农林大学资源与环境学院, 福建 福州 350002; 2. 井冈山大学化学化工学院, 江西 吉安 343009;

3. 井冈山大学生命科学学院, 江西 吉安 343009)

摘要: 3 种人工林土壤游离氨基酸总含量表现出明显的垂直分布特征. 针阔叶混交林和针叶林表层(0 ~ 20 cm) 土壤游离氨基酸含量显著高于深层(20 ~ 40 cm) 土壤的含量($P < 0.05$); 而阔叶林表层土壤游离氨基酸含量低于深层土壤的含量, 但差异不显著. 土壤游离氨基酸各组分均表现出显著的垂直分布特征, 阔叶林表层土壤中天冬氨酸、谷氨酸、组氨酸、精氨酸和苯丙氨酸的含量显著高于深层土壤对应组分的含量, 但苏氨酸、脯氨酸、甘氨酸、丙氨酸、亮氨酸显著低于深层土壤对应组分的含量; 针阔叶混交林表层土壤中酪氨酸、组氨酸和脯氨酸低于深层土壤的含量, 而其余组分均显著高于深层土壤的含量; 而针叶林中除甲硫氨酸和赖氨酸外, 其余 15 种氨基酸在表层土壤中的含量均高于深层土壤中对应组分的含量. 3 种人工林中无论是表层土壤还是深层土壤, 游离氨基酸均以中性氨基酸含量为最高, 碱性和酸性氨基酸含量次之, 含硫氨基酸含量最低. 表层土壤中天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、亮氨酸和精氨酸的含量依次为: 针叶林 < 阔叶林 < 针阔叶混交林, 而赖氨酸和脯氨酸的含量则以针叶林为最高, 针阔叶混交林次之, 阔叶林最低; 阔叶林表层土壤中酪氨酸和胱氨酸含量最高. 深层土壤中各组分氨基酸除赖氨酸之外均以针叶林中含量最低, 针阔叶混交林次之, 而阔叶林中含量最高.

关键词: 针叶林; 阔叶林; 针阔叶混交林; 游离氨基酸; 氨基酸组成

中图分类号: Q 947

文献标志码: A

0 引言

土壤氨基酸含量的高低是土壤肥力水平的重要标志之一^[1]. 在土壤氮素供应和稳定不同生态系统生产力上起有重要作用. 大量报道认为包括农业栽培植物和跨较宽纬度梯度的许多生态系统中的自然植物^[2-3] 均能吸收氨基酸态氮, 植物吸收氨基酸态氮已被公认为是普遍的生态学现象. 培养实验表明菌根与非菌根的植物都能快速地从水溶液中吸收氨基酸^[4-11]. 原位实验^[12-13] 表明无论是矿化速率、有机质含量和可溶性有机氮(SON) 流量均较低的柳树林, 还是矿化速率和有机质含量均很高, 并以 SON 为 N 循环主要形式的黑云杉林中, 均观察到植物吸收氨基酸的现象. 许多学者发现, 从北极苔原^[6, 14]、北方森林^[15-16] 到高山生态系统^[7-8] 等不同的生态系统中的许多植物都能吸收氨基酸. 因此, 植物直接吸收游离氨基酸可能对其所在的生态系统的氮循环产生重要的影响, 缩短了 N 循环的转化过程, 并减缓

初级生产力对氮矿化速率的依赖性^[16-17].

但是, 很多土壤微生物也可以直接利用低分子量的可溶性有机氮^[18-19], 从而出现与植物根系竞争可溶性氮的现象. 不同植物与土壤微生物对土壤可利用性有机氮的竞争能力存在显著差异^[6, 8, 10-11], 而植物吸收的有机氮与无机氮之比值因土壤和植物根系活动区的游离氨基酸浓度而异^[6, 8, 20]. 因此, 研究不同森林生态系统土壤氨基酸组成及其浓度, 进一步澄清森林生态系统中可溶性有机氮的存在形式, 对深入揭示森林对氮的利用及森林氮素循环机制有重要作用^[21-22]. 本文以福建省 3 种代表性人工林为研究对象, 研究了人工林土壤氨基酸的组成及其含量, 并分析不同生态系统之间土壤氨基酸含量的差异.

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于福建省南平市西芹镇的福建农林大

收稿日期: 2013-03-18

基金项目: 国家自然科学基金(40671086) 和江西省教育厅课题(GJJ11716) 资助项目.

通信作者: 邢世和(1962-), 男, 福建连江人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事土地(壤) 生态环境评价以及陆地生态系统碳循环研究.

学教学林场,该区属中亚热带季风气候,土壤类型为花岗片麻岩发育而来的酸性岩红壤,地貌类型为武夷山南伸和戴云山北延支脉的低山丘陵地貌类型,试验所选择的坡向为东南坡(海拔 300~350 m)。在该林场相邻区域选择同龄(12 a)人工林为研究区域,3 种人工林分别为阔叶林(楠木,*Phoebe Bournei* (Hemsl.) Yang)、针阔混交林(池杉×竹柏,*Nageia nagi* (thumb.) O. Ktze×*Taxodium ascendens* Brongn)和针叶林(杉木,*Cunninghamia lanceolata* (Lamb) Hook),分别在每一林地生态系统的坡上坡、中坡和下坡各设立 3 个面积为 10 m×15 m 的取样小区。3 种人工林覆被长势良好,郁闭度较高,阔叶林和针阔混交林的地表凋落物数量相近,但明显高于针叶林。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤样品采集与处理 在每一调查小区采用“S”型随机采样法布设 10 个采样点,利用采样刀去除地表的枯枝落叶层,然后采集土层样品(采样深度分别为 0~20 cm 和 20~40 cm),各小区各层的土壤混匀后采用四分法获得混合土样,带回实验室。取出一部分新鲜土样,研细过 2 mm 筛后置于 4℃ 冰箱中恒温保存,作为土壤氨基酸分析测定样品,其余样品于室内风干,供土壤相关性质测定时使用。

1.2.2 分析方法 参照 J. Ozoh^[23] 的提取方法,称取相当于 4.0 g 干土质量的风干土壤样品于带盖的 50 mL 三角瓶中,加 20 mL 蒸馏水,置于 70℃ 恒温水浴中加热提取 18 h,然后将三角瓶置于振荡机上振荡 5 min,最后用 Whatman 42 滤纸过滤,利用日立 8800 氨基酸全自动分析仪测定溶液氨基酸类型及

其含量。

土壤可溶性有机氮通过土壤总可溶性氮(TSN)与可溶性无机氮(SIN)差减法计算获得。实验采用水(70℃)提取-高温催化氧化法-SHIMADZU TOC-VCPH/CPN 分析仪测定,具体方法为:取 5 g 4℃ 恒温保存的新鲜土壤样品于带盖的 50 mL 三角瓶中,加 50 mL 水(70℃)置于振荡机上振荡震荡 1 h,最后用 Whatman 42 滤纸过滤所有的提取液,提取液中的总可溶性氮(TSN)采用高温催化氧化法-SHIMADZU TOC-VCPH/CPN 分析仪测定,可溶性无机氮(铵态氮和硝态氮)采用 LACHAT Quickchem 离子自动分析仪测定^[24]。

1.2.3 统计方法 所有的数据采用 Excel 进行初步整理,利用统计分析软件 SPSS 17.0 (SPSS Science, Birmingham, UK) One-Way ANOVA 进行多重比较分析。

2 结果分析

2.1 不同人工林土壤游离氨基酸含量的垂直差异 人工林土壤氨基酸总含量表现出明显的垂直分布特征见表 1。针阔叶混交林和针叶林表层(0~20 cm)土壤氨基酸含量(分别为 5.151 0 和 3.597 0 mg·kg⁻¹)显著高于深层(20~40 cm)土壤氨基酸含量(分别为 3.841 7 和 2.886 3 mg·kg⁻¹, $P < 0.05$)。而阔叶林表层土壤氨基酸含量(4.494 0 mg·kg⁻¹)低于深层土壤的氨基酸含量(4.577 7 mg·kg⁻¹),但差异不显著。

表 1 不同林被类型土壤氨基酸总含量 单位: mg·kg⁻¹

氨基酸	阔叶林			针阔叶混交林			针叶林		
	0~20 cm			20~40 cm					
酸性氨基酸	天冬氨酸 Asp	0.112 3±0.032 0	0.141 3±0.037 0	0.068 0±0.016 0	0.077 7±0.034 0	0.102 7±0.037 0	0.057 0±0.016 0		
	谷氨酸 Glu	0.164 0±0.044 0	0.245 3±0.042 0	0.166 0±0.027 0	0.136 3±0.038 0	0.108 3±0.032 0	0.091 7±0.049 0		
碱性氨基酸	赖氨酸 Lys	0.020 0±0.005 0	0.025 0±0.005 0	0.054 7±0.002 0	0.023 3±0.004 0	0.032 3±0.001 0	0.069 3±0.013 0		
	组氨酸 His	0.090 3±0.006 0	0.056 7±0.028 0	0.075 3±0.015 0	0.056 3±0.023 0	0.122 3±0.012 0	0.049 0±0.019 0		
	精氨酸 Arg	0.203 0±0.046 0	0.327 7±0.100 0	0.120 7±0.030 0	0.159 3±0.060 0	0.172 0±0.049 0	0.075 7±0.037 0		
中性氨基酸	苏氨酸 Thr	0.490 0±0.104 0	0.572 3±0.074 0	0.496 7±0.094 0	0.516 3±0.073 0	0.418 0±0.080 0	0.446 7±0.068 0		
	丝氨酸 Ser	0.383 7±0.082 0	0.438 7±0.050 0	0.381 7±0.062 0	0.395 3±0.055 0	0.368 3±0.036 0	0.338 3±0.055 0		
	脯氨酸 Pro	0.036 7±0.005 0	0.055 3±0.017 0	0.092 7±0.069 0	0.078 7±0.018 0	0.065 3±0.009 0	0.053 0±0.038 0		
	甘氨酸 Gly	0.299 3±0.059 0	0.323 0±0.044 0	0.342 0±0.052 0	0.309 7±0.043 0	0.252 3±0.074 0	0.288 0±0.055 0		
	丙氨酸 Ala	0.672 7±0.153 0	0.783 0±0.109 0	0.241 7±0.135 0	0.710 0±0.088 0	0.536 3±0.101 0	0.226 7±0.018 0		
	缬氨酸 Val	0.442 3±0.091 0	0.499 7±0.061 0	0.441 7±0.082 0	0.488 7±0.043 0	0.386 0±0.079 0	0.357 0±0.087 0		
中性氨基酸	异亮氨酸 Ile	0.271 0±0.050 0	0.290 0±0.042 0	0.265 3±0.073 0	0.292 3±0.024 0	0.230 7±0.049 0	0.191 0±0.076 0		
	亮氨酸 Leu	0.667 0±0.093 0	0.719 0±0.108 0	0.507 3±0.089 0	0.703 3±0.070 0	0.526 0±0.079 0	0.396 3±0.107 0		
	酪氨酸 Tyr	0.175 0±0.027 0	0.123 7±0.033 0	0.117 0±0.033 0	0.174 7±0.009 0	0.153 3±0.026 0	0.060 3±0.042 0		
	苯丙氨酸 Phe	0.326 0±0.094 0	0.404 3±0.071 0	0.169 3±0.047 0	0.310 0±0.063 0	0.236 7±0.039 0	0.129 7±0.042 0		

续表 1

氨基酸	阔叶林	针阔叶混交林	针叶林	阔叶林	针阔叶混交林	针叶林
	0~20 cm			20~40 cm		
含硫氨基酸						
胱氨酸 Cys	0.049 0 ± 0.005 0	0.041 7 ± 0.005 0	0.023 3 ± 0.008 0	0.047 0 ± 0.002 0	0.041 3 ± 0.002 0	0.014 7 ± 0.008 0
甲硫氨酸 Met	0.091 7 ± 0.001 0	0.104 3 ± 0.008 0	0.033 7 ± 0.012 0	0.098 7 ± 0.007 0	0.089 7 ± 0.013 0	0.042 0 ± 0.002 0
氨基酸总量	4.494	5.151	3.597	4.578	3.842	2.886
SON	29.100	24.333	28.0667	23.666	23.900	19.800
AA: SON	15.44	21.17	12.82	19.34	16.07	14.58

注: 数据显示平均值 ± 标准误($n = 3$) .

表 1 结果表明: 3 种人工林土壤氨基酸氮各组分均表现出显著的垂直分布特征, 在阔叶林表层土壤中天冬氨酸、谷氨酸组氨酸、精氨酸和苯丙氨酸的含量显著高于深层土壤中对应该组分的含量($P < 0.05$), 赖氨酸、丝氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、酪氨酸、脯氨酸、甲硫氨酸略低于深层土壤中的含量, 差异不显著, 但是, 苏氨酸、脯氨酸、甘氨酸、丙氨酸、亮氨酸

显著低于深层土壤中对应该组分的含量($P < 0.05$, 见图 1); 在针阔叶混交林表层土壤中酪氨酸、组氨酸和脯氨酸低于深层土壤中的含量, 而其余组分均显著高于深层土壤中的含量(见图 2); 在针叶林中, 甲硫氨酸、赖氨酸是深层土壤中含量高于表层土壤中的含量, 其余 15 种氨基酸在表层土壤中的含量均高于深层土壤中对应该组分的含量(见图 3) .

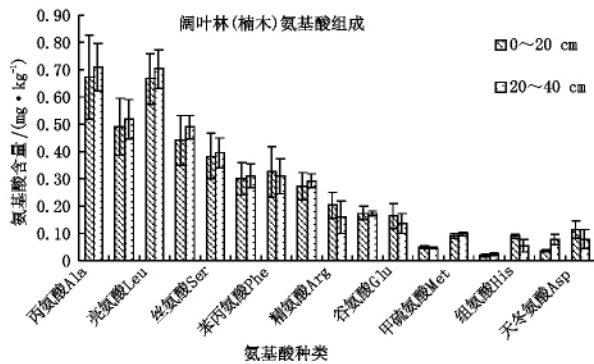


图 1 阔叶林氨基酸组成(图中误差线表示标准误 $n = 3$)

C. A. Campbell 等^[30]把氨基酸分为酸性、碱性、中性和含硫氨基酸 4 类. 3 种人工林中各类氨基酸占总氨基酸的比例也表现出较显著的垂直分布, 表层土壤中酸性氨基酸含量显著高于深层土壤中的含

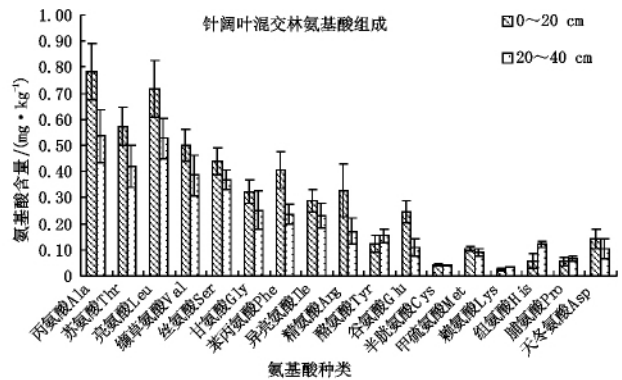


图 2 针阔叶混交林氨基酸组成(图中误差线表示标准误 $n = 3$)

量, 而中性氨基酸和碱性氨基酸含量低于深层土壤中的含量($P < 0.05$), 含硫氨基酸含量与深层土壤中含量的差异不显著(见图 4) . 3 种人工林中无论是表层土壤还是深层土壤, 氨基酸氮均以中性氨基

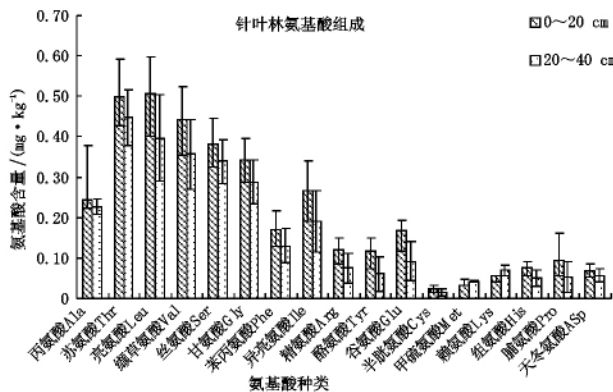


图 3 针叶林氨基酸组成(图中误差线表示标准误 $n = 3$)

酸含量为最高, 碱性和酸性氨基酸含量次之, 含硫氨基酸含量最低(见表 1) . 中性氨基酸在阔叶林表层和深层土壤中分别占氨基酸总量的 83. 75% 和

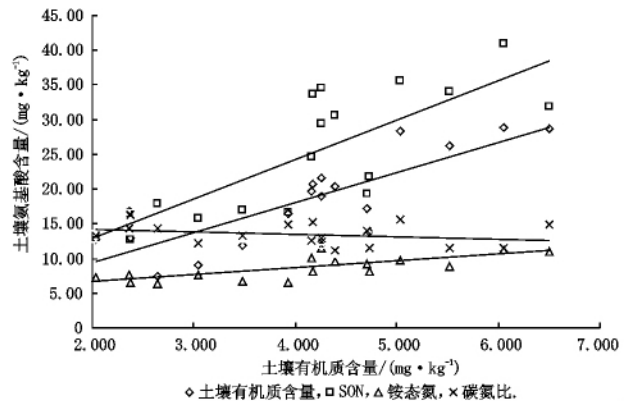


图 4 土壤氨基酸含量与重要影响因素的相关性($n = 18$)

86. 92% , 在针阔叶混交林中分别占 81. 71% 和 82. 59% , 在针叶林中分别占氨基酸总量的 84. 94% 和 86. 16% ; 酸性和碱性氨基酸在 3 种森林表层土

壤中的含量约占氨基酸总量的 6.15% ~ 7.51% 和 6.97% ~ 7.95%, 在深层土壤中约占氨基酸总量的 4.67% ~ 5.49% 和 5.22% ~ 8.50%; 而含硫氨酸在 3 种森林表层土壤中的含量约占氨基酸总量的 1.58% ~ 3.13% 和 1.96% ~ 3.41%。

2.2 不同人工林土壤游离氨基酸组成的含量差异

针阔混交林表土中酸性氨基酸、碱性氨基酸和中性氨基酸含量均显著高于阔叶林和针叶林, 阔叶林和针叶林表土中酸性氨基酸含量相差不大, 针叶林深层土壤中酸性氨基酸、碱性氨基酸和中性氨基酸含量显著低于阔叶林和针阔混交林(见表1)。针阔混交林表层土壤中氨基酸对可溶性有机氮的贡献最高(21.17%), 阔叶林次之(15.44%), 针叶林最低(12.82%)。阔叶林深层土壤中氨基酸对可溶性有机氮的贡献率为 19.34%, 高于针阔叶混交林和针叶林, 针叶林层土壤中氨基酸对可溶性有机氮的贡献最低(14.58%)。

针阔叶混交林表层土壤中天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬草氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、亮氨酸和精氨酸的含量高于阔叶林和针叶林表层土壤中相应组分的含量, 针叶林最低; 表层土壤中赖氨酸和脯氨酸的含量以针叶林为最高, 针阔叶混交林次之, 阔叶林最低; 络氨酸和胱氨酸含量针叶林 < 针阔叶混交林 < 阔叶林, 组氨酸表层针阔叶混交林 < 针叶林 < 阔叶林。但各种差异均未达到统计学意义上显著水平。

深层土壤中, 丝氨酸、谷氨酸、丙氨酸、胱氨酸、缬草氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、络氨酸、苯丙氨酸、脯氨酸的含量以阔叶林最高, 针阔叶混交林次之, 针叶林最低; 赖氨酸含量正好相反, 以针叶林土壤中含量为最高, 针阔叶混交林次之, 阔叶林最低; 组氨酸和精氨酸含量以针阔叶混交林土壤中最高, 阔叶林次之, 针叶林最低; 针阔叶混交林中甘氨酸含量最低, 阔叶林叶甘氨酸含量最高。但各种差异均未达到统计学意义上显著水平。

3 讨论

闽北3种人工林土壤氨基酸氮总含量及其各组分均表现出显著的垂直分布特征。针阔叶混交林和针叶林表层土壤氨基酸含量显著高于深层土壤氨基酸含量($P < 0.05$)。土壤氨基酸氮阔叶林表层土壤中天冬氨酸、谷氨酸组氨酸、精氨酸和苯丙氨酸的含量显著高于深层土壤中对应组分的含量, 但苏氨酸、脯氨酸、甘氨酸、丙氨酸、亮氨酸显著低于深层土壤

中对应组分的含量; 针阔叶混交林表层土壤中酪氨酸、组氨酸和脯氨酸低于深层土壤中的含量, 而其余组分均显著高于深层土壤中的含量; 而针叶林和针阔混交林中表层土壤的 17 种氨基酸含量均高于深层土壤中对应组分的含量。土壤氨基酸氮是土壤有机氮(SON)的重要组成部分之一, 而土壤有机氮的主要来源是新近的凋落物^[25-26]和土壤有机质层^[18 26-27]。实验结果表明土壤氨基酸含量随着土壤有机质、SON 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量的增加显著地增加, 表层土壤有机凋落物和有机质含量均高于深层土壤, 表层土壤水溶性 SON 含量极显著地高于深层土壤 SON 含量^[28], 因此, 土壤氨基酸氮总含量及其各组分出现垂直分布差异。

3 种人工林中无论是表层土壤还是深层土壤, 氨基酸氮均以中性氨基酸含量为最高, 碱性和酸性氨基酸含量次之, 含硫氨基酸含量最低。这与已有的报道结果一致。陈水挟等^[29]发现自然条件下我国闽北各种土壤类型的氨基酸含量和组成无显著差异, 氨基酸组成均以中性为主(占酸性氨基酸次之(占 20% ~ 40%)), 氨基酸总量的 60% ~ 75%, 酸性氨基酸次之(占 20% ~ 40%), 碱性氨基酸仅占氨基酸总量的 10% 以下。C. A. Campbell 等^[30]的研究结果表明中性氨基酸占土壤氨基酸总量的 53.99%, 碱性氨基酸和酸性氨基酸分别占土壤氨基酸总量的 24.94% 和 20.59%, 含硫氨基酸最小, 仅为 0.48%。

游离氨基酸是土壤中各种植物根系和土壤微生物分泌物在降解过程中所产生的^[31], 在土壤溶液和孔隙中以游离形式存在。土壤氨基酸含量的差异与生长植物的种类及其生长时期有关, 豆科植物根际土壤中游离氨基酸含量相对要高一些^[32], 在刺槐和国槐的根面及根际土壤中的游离氨基酸含量与植株的生长季节有关^[33], 说明土壤微生物对土壤氨基酸含量起了重要的作用。本试验结果表明针阔叶混交林表层土壤中天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬草氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、亮氨酸和精氨酸的含量高于阔叶林和针叶林, 而阔叶林又高于针叶林, 但是赖氨酸和脯氨酸的含量正好相反, 以针叶林为最高, 针阔叶混交林次之, 阔叶林最低。研究表明土壤氨基酸氮含量与土壤微生物生物量氮之间存在显著的正相关关系($R = 0.888$)^[34]。郭新春等^[28]发现针阔混交林土壤微生物、细菌、真菌和放线菌的相对生物量极显著地高于阔叶林和针叶林, 阔叶林土壤微生物量、细菌和放线菌显著高于针叶林, 但阔叶林土壤真菌的相对生物量显著低于针叶林。说明影响土壤中氨基酸含量的微生物主要是细菌和放线

菌,而影响土壤中赖氨酸和脯氨酸的含量的微生物主要是真菌。

结果表明,闽北 3 种人工林土壤氨基酸中以苏氨酸含量最高,赖氨酸含量最低,这与已有的报道有些不同。李世清等^[35]研究了土壤中 17 种酸解氨基酸的组成模式,结果表明赖氨酸、甘氨酸、天冬氨酸和丙氨酸占酸解氨基酸总氮的 45.5%,而胱氨酸、蛋氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、异亮氨酸、脯氨酸、丝氨酸等 7 种游离氨基酸共占酸解氨基酸总量的 16.13%。产生这一现象的原因可能是热带气候条件影响了土壤氨基酸含量和组成,在热带地区土壤,碱性氨基酸容易被土壤中其它成分吸附,降低了其生物分解性,从而使得这些组分的相对含量较高^[36]。而温带地区暗棕壤和草甸土壤中碱性氨基酸的生物分解性相对较高,其含量相对比热带地区土壤低^[35,37]。

综上所述,阔叶林土壤中多种氨基酸(天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、亮氨酸和精氨酸)的含量均高于针叶林土壤中相应组分的含量,针阔叶混交林又高于阔叶林,而氨基酸氮能缩短 N 循环的转化过程,并减缓初级生产力对氮矿化速率的依赖性^[16-17],因此,森林培育中应尽量对针叶林进行补植阔叶树种,以营造针阔叶混交林,以提高森林蓄积量。

4 参考文献

- [1] 李世清,李生秀.土壤微生物量氮测定方法研究[J].植物营养与肥料学报,2000,6(1):75-83.
- [2] Kielland K,McFarland J,Ruess R,et al. Rapid cycling of organic nitrogen in taiga forest ecosystems [J]. Ecosystem, 2007, 10: 360-368.
- [3] Lipson D A,Nösholm T. The unexpected versatility of plants: organic nitrogen use and availability in terrestrial ecosystems [J]. Oecologia, 2001, 128: 305-316.
- [4] Soldal T,Nissen P. Multiphasic uptake of amino acids by barley roots [J]. Physiologia Plantarum, 1978, 43: 181-188.
- [5] Schobert C,Komor E. Amino acid uptake by *Ricinus communis* roots: characterization and physiological significance [J]. Plant Cell Environment, 1987, 10: 493-500.
- [6] Kielland K. Amino acid absorption by arctic plants: implications for plant nutrition and nitrogen cycling [J]. Ecology, 1994, 75: 2373-2383.
- [7] Raab T K,Lipson D A,Monson R K. Non-mycorrhizal uptake of amino acids by roots of the alpine sedge *Kobresia myosuroides*: implications for the alpine nitrogen cycle [J]. Oecologia, 1996, 108: 488-494.
- [8] Raab T K,Lipson D A,Monson R K. Soil amino acid utilization among species of the Cyperaceae: plant and soil processes [J]. Ecology, 1999, 80: 2408-2419.
- [9] Wallenda T,Read D J. Kinetics of amino-acid uptake by ectomycorrhizal roots [J]. Plant Cell Environment, 1999, 39: 169-187.
- [10] Falkengren-Grerup U,Månsson K F,Olsson M O. Uptake capacity of amino acids by ten grasses and forbs in relation to soil acidity and nitrogen availability [J]. Environmental and Experimental Botany, 2000, 44: 207-219.
- [11] Persson J,Näsholm T. Amino acid uptake: a widespread ability among boreal forest plants [J]. Ecology Letters, 2001, 4: 434-438.
- [12] Jones D L,Kielland K. Soil amino acid turnover dominates the nitrogen flux in permafrost-dominated taiga forest soils [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2002, 34: 209-219.
- [13] Kielland K,McFarland J,Olson K. Amino acid uptake in deciduous and coniferous taiga ecosystems [J]. Plant Soil, 2006, 288: 297-307.
- [14] Schimel J P,Chapin III F S. Tundral plant uptake of amino acid and NH_4^+ nitrogen in situ: plants compete well for amino acid N [J]. Ecology, 1996, 77(7): 2142-2147.
- [15] Näsholm T,Ekblad A,Nordin A,et al. Boreal forest plants take up organic nitrogen [J]. Nature, 1998, 392: 227-229.
- [16] Öhlund J,Näsholm T. Regulation of organic and inorganic nitrogen uptake in Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings [J]. Tree Physiology, 2004, 24: 1397-1402.
- [17] Chapin III F S. New cog in the nitrogen cycle [J]. Nature, 1995, 377: 199-200.
- [18] Barraclough D. The direct or MIR route for nitrogen immobilization: a ^{15}N mirror image study with leucine and glycine [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1997, 29: 101-108.
- [19] Barak P,Motina J A E,Hadas A,et al. Mineralization of amino acids and evidence of direct assimilation of organic nitrogen [J]. Soil Science Society of America Journal, 1990, 54: 769-774.
- [20] Atkin O K. Reassessing the nitrogen relations of arctic plants: a mini-review [J]. Plant Cell Environment, 1996, 19: 695-704.
- [21] 杨玉盛,郭剑芬,陈光水,等.森林生态系统 DOM 的来源、特性及流动 [J].生态学报,2003,23(3):547-558.
- [22] 刘艳,周国逸,刘菊秀.陆地生态系统可溶性有机氮研究进展 [J].生态学杂志,2005,24(5):573-577.
- [23] Ozoh J. Amino acid analysis [J]. Methods Enzymol, 1990, 182: 587-591.
- [24] Chen Chengrong,Xu Zhihong,Keay P. Total soluble nitrogen in forest soils as determined by persulfate oxidation and by high temperature catalytic oxidation [J]. Australian Journal of Soil Research, 2005, 43(4): 515-523.
- [25] Qualls R G,Haines B L,Swank W T. Fluxes of dissolved organic nutrients and humic substances in a deciduous for-

- est [J]. Ecology, 1991, 72: 254-226.
- [26] Kalbitz K, Solinger S, Park J H et al. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review [J]. Soil Science, 2000, 165(4): 277-304.
- [27] Williams B B, Edwards A C. Processes influencing dissolved organic nitrogen, phosphorus and sulphur in soils [J]. Chem Ecol, 1993, 8: 203-215.
- [28] 郭新春, 曹裕松, 刘苑秋, 等. 3种人工林土壤微生物群落结构与可溶性有机氮的相关性 [J]. 江西农业大学学报, 2013, 35(1): 131-137.
- [29] 陈水挾, 钟月明, 王将克. 一些土壤样品的氨基酸初步分析 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 1996, 35(6): 106-110.
- [30] Campbell C A, Schnitzer M, Lafond G P et al. Thirty-year crop rotations and management practices effects on soil and amino nitrogen [J]. Soil Science Society of America Journal, 1991, 55(3): 738-745.
- [31] 武冠云. 土壤有机氮的形态、分布及其易分解性 [J]. 土壤通报, 1986, 17(2): 90-95.
- [32] 贾新民, 殷奎德, 隋文志, 等. 大豆连作条件下土壤中游离氨基酸的研究 [J]. 现代化农业, 1995(5): 1-2.
- [33] 范俊岗. 刺槐、国槐根际土壤中氨基酸和 IAA 的含量 [J]. 辽宁大学学报: 自然科学版, 1994, 21(3): 92-96.
- [34] Bremner J M. Organic forms of nitrogen [M] // Black C A. Methods of Soil Analysis. Wus USA: Agronomy Am Soc of Agron Inc Madison, 1965: 1148-1178.
- [35] 李世清, 李生秀, 杨正亮. 不同生态系统土壤氨基酸氮的组成及含量 [J]. 生态学报, 2002, 22(3): 379-386.
- [36] Standford G, Carter J N, Smith S J. Estimates of potentially mineralizable soil nitrogen based on short-term incubation [J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1972, 38(1): 99-102.
- [37] Sowden F J, Chen Y, Schnitzer M. The nitrogen distribution in soils formed under widely differing climatic conditions [J]. Geochem Cosmochim Acta, 1977, 41(6): 1524-1526.

Composition of Soil Free Amino Acid and Its Difference in Three Plantations in Southern China

GUO Xin-chun^{1,2}, CAO Yu-song³, XING Shi-he^{1*}

(1. College of Resource and Environment, Fujian Agriculture & Forestry University, Fuzhou Fujian 350002, China;

2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Jinggangshan University, Ji'an Jiangxi 343009, China;

3. School of Life Science, Jinggangshan University, Ji'an Jiangxi 343009, China)

Abstract: The total contents of soil free amino acids total nitrogen in the three plantations showed significant vertical distribution characteristics. Free amino acid contents in 0 ~ 20 cm layer soil were significantly higher than that in 20 ~ 40 cm layer soil in the leaved-mixed and coniferous forest ($P < 0.05$). However, the total contents of free amino acid in 0 ~ 20 cm layer soil less than in 20 ~ 40 cm layer soil in the broad-leaved forest. Moreover, contents of every component of free amino acids in soil also showed significant vertical distribution characteristics. Contents of aspartic acid, glutamic acid, histidine, arginine and phenylalanine in topsoil were respectively higher than in deep soil in the broad-leaved forest topsoil, but content of threonine, proline, glycine, alanine and leucine were respectively lower than in deep soil. Content of tyrosine and histidine and proline in topsoil were respectively lower than that in deep soil in the broad-leaved mixed plantation, while the rest components of free amino acids in topsoil were significantly higher in deep soil. Contents of every composition of the free amino acids except for methionine and lysine in topsoil were respectively higher than in the deep soil in coniferous forest. Neutral amino acid content either in topsoil or in deep soil in the three plantations was highest in the four amino acids, followed by alkaline and acidic amino acid content, and sulfur-containing amino acids content was lowest. Contents of aspartic acid, serine, glutamic acid, glycine, alanine, valerian, leucine, methionine, isoleucine, leucine and arginine in topsoil were highest in mixed broadleaf forest followed with that in broad-leaved forest and lowest in coniferous forest. However, lysine and proline content in topsoil were just the opposite. And the contents of every component of amino acids except lysine in the deep soil were highest in broad-leaved forest, followed in mixed broadleaf forest and lowest in coniferous forest.

Key words: coniferous forest; broad-leaved forest; mixed broadleaf forest; free amino acid; amino acid composition

(责任编辑: 刘显亮)