

茶树品种对亚热带茶园土壤可溶性有机氮组成的影响

周碧青^{1,2}, 陈成榕³, 张黎明^{1,2}, 杨文浩^{1,2}, 毛艳玲^{1,2}, 邢世和^{1,2*}

(1. 福建农林大学资源与环境学院, 福州 350002; 2. 土壤生态系统健康与调控福建省高校重点实验室, 福州 350002; 3. School of Environment, Griffith University, Queensland Brisbane, Qld 4111, Australia)

摘要:为探讨茶树品种对茶园土壤可溶性有机氮(SON)组成的影响,以福建省中亚热带相同成土母质、地形和土壤类型的两种相邻的不同品种(黄金桂和福云6号)茶园为研究对象,采用TOC-TN分析、离子自动分析、氨基酸自动分析、气相色谱分析和核磁共振分析等技术,分析了不同茶树品种茶园表层(0~15 cm)土壤SON含量和组成特点及其差异。结果表明:黄金桂和福云6号表层土壤氨基酸含量分别占SON总量的37.24%和30.71%,供试茶园土壤SON组成均以非氨基酸的SON占优势,但黄金桂表层土壤氨基酸含量极显著高于福云6号;两种茶园表层土壤氨基酸均以中性氨基酸占优势,但黄金桂表层土壤中中性氨基酸和含硫氨基酸含量分别显著和极显著高于福云6号;两种茶园表层土壤氨基酸种类组成相同,但黄金桂表层土壤的脯氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、丙氨酸、甘氨酸和缬氨酸含量比福云6号高52.93%~100.00%。研究表明茶树品种对茶园土壤SON组成具有显著影响,应关注茶树品种对占优势的非氨基酸SON组成的影响及其在茶园生态系统中的环境效应研究。

关键词:亚热带;茶树品种;可溶性有机氮;组成

中图分类号:S153.6 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2015)06-1158-08 doi:10.11654/jaes.2015.06.020

Effects of Tea Genotypes on Soil Soluble Organic Nitrogen Compositions in Subtropical Tea Plantations

ZHOU Bi-qing^{1,2}, CHEN Cheng-rong³, ZHANG Li-ming^{1,2}, YANG Wen-hao^{1,2}, MAO Yan-ling^{1,2}, XING Shi-he^{1,2*}

(1. College of Resource and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Key Lab of Soil Ecosystem Health and Regulation, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 3. School of Environment, Griffith University, Brisbane, Qld 4111, Australia)

Abstract: To explore the effects of tea genotypes on soil soluble organic nitrogen (SON) compositions, two adjacent tea plantations grown with different tea genotypes (Huangjingui and Fuyun 6) with the same parent material (tuff residual deposits), soil type (Alliti-Udic Ferrosols), and landform (hilly slopes facing east) in mid-subtropics in Fujian were selected. Topsoil samples (0~15 cm) at upper, middle and lower positions of the slope in each tea plantation were collected in summer. The compositions and their concentrations of SON were analyzed using TOC-TN analyzer, Quickchem Automated Ion Analyzer, Automated Amino Acid Analyzer, Gas chromatograph and NMR Spectroscopy. Results showed that amino acids in topsoils of Huangjingui and Fuyun 6 plantations were 37.24% and 30.71% of total SON, respectively. Non-amino acids were the main SON fractions in two tea plantations. The content of total amino acids in Huangjingui topsoils was significantly higher than that in Fuyun 6 soils. Neutral amino acids were the dominant fraction of amino acids in both Huangjingui and Fuyun 6 plantations, accounting for 85.20% and 80.54% of the total amino acids, respectively. Neutral and sulfur amino acids in Huangjingui topsoils were significantly higher than those in Fuyun 6. The compositions of amino acids in both tea plantations were the same, but the concentrations of proline, phenylalanine, histidine, isoleucine, leucine, alanine, glycine and valine were 52.93%~100.00% higher in Huangjingui topsoils than in Fuyun 6. These findings indicated that tea genotype greatly influenced compositions of SON in tea plantation soil and non-amino acids were the dominant fraction of SON. Therefore, it is important to reveal the effects of tea genotypes on non-amino acid components of SON and their environmental implications in tea ecosystems.

Keywords: subtropics; tea genotype; soluble organic nitrogen; composition

收稿日期: 2015-01-05

基金项目: 教育部博士点基金项目(20113515110013), 国家自然科学基金项目(40671086)

作者简介: 周碧青(1963—), 女, 福建莆田人, 副教授, 从事土壤环境监测与碳氮循环研究。E-mail: 1963zbq@163.com

* 通信作者: 邢世和 E-mail: fafuxsh@126.com

土壤可溶性有机氮(Soluble organic nitrogen, SON)是指可溶于水或可被盐溶液所提取的土壤有机氮^[1]。随着SON研究的不断深入,有关陆地生态系统土壤SON的有效性和生态功能研究渐受国内外高度关注^[2],而SON的生态功能与其组成密切相关,故研究探讨不同生态系统土壤SON组成特点及其差异原因,对揭示陆地生态系统SON的化学本质和生态功能、完善陆地生态系统氮素循环理论均具有重要的理论意义。国外研究表明,陆地生态系统土壤SON组成随来源、植被、土壤类型、微生物状态、农业措施等而异^[3-5],大致可分为两类:一是以土壤游离氨基酸和蛋白质为代表的具有低分子量、易分解且周转速度快的有机氮组分^[1,4-8];二是以大分子量的腐殖质为代表的难分解、且周转速度较慢的有机氮组分^[9]。国内有关土壤SON组成的研究报道较少,一些学者关注土壤氨基酸的组成研究,结果表明土壤氨基酸类型主要有甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、苏氨酸、缬氨酸、脯氨酸和天门冬氨酸等,且不同生态系统下土壤氨基酸类型及其含量差异显著,随生态环境条件的变化而异^[10-13];国内外至今有关具体农作物品种(如茶树品种)对生态系统土壤SON组成的影响研究则少见报道。因此,本研究以生态环境条件(气候、母质、地形、土壤等)相同、位置相邻的两个不同茶树品种(黄金桂和福云6号)生态系统为研究对象,借助高温催化氧化-TOC-TN分析、离子自动分析、氨基酸自动分析、磷脂脂肪酸气相色谱分析和核磁共振分析等分析技术,研究不同茶树品种生态系统土壤SON组成及其差异,探讨茶树品种对茶园生态系统土壤SON组成的影响,为揭示茶园生态系统土壤SON的含量、组成及其生态功能提供科学依据。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概述

研究区位于福建省福安市社口镇福建农科院茶叶科学研究所茶场内,地理位置为东经119°34′、北纬27°13′,属中亚热带海洋性季风气候,年均气温和降水量分别为19.3℃和1646 mm,无霜期为272.2 d,年均日照时数为1740 h。供试两种茶树品种茶园位于阳坡,彼此相邻,海拔70~190 m,平均坡度20°,成土母质为花岗岩坡残积物,土壤类型为酸性岩红壤。两种茶树分别为黄金桂[*C. Sinensis* (L.) O. Kuntze cv. Huangjingui]和福云6号[*C. Sinensis* (L.) O. Kuntze cv.

Fuyun 6],种植于1998年3月,种植时基肥用量为有机肥4.5 t·hm⁻²和过磷酸钙0.75 t·hm⁻²,前三年生长期修剪茶树3次,茶树冠覆盖率超过60%时进入采摘期,每年分别在3、7、10月采摘三次。每年6、8、11月追施化肥,养分比例为N:P₂O₅:K₂O=20%:8%:8%,施用量为3.0 t·hm⁻²,其中6月施肥量占50%、8月占20%、11月占30%。每三年对茶园20~25 cm土层土壤进行深耕松土。

1.2 样区布设与样品采集处理

在两种不同品种茶园的上坡(海拔180 m)、中坡(海拔130 m)、下坡(海拔80 m)分别设立调查样区,每一坡位设3个重复(即每一茶园设3×3调查样区),样区面积为10 m×10 m。考虑到亚热带地区夏季的气温较高,微生物活动旺盛,土壤有机氮的分解转化作用较为强烈,故选择夏季(7月中旬)采用蛇型布点法在每个样区内的非施肥点采集10个表层(0~15 cm)土样,将采集的10个土样混匀后以四分法采集混合样品,分两份装入无菌聚乙烯封口袋,一份置于4℃恒温车载冰箱保存,另一份常温存放。在室内将车载冰箱保存的样品过2 mm筛后置于4℃冰箱恒温保存,用于土壤SON、氨基酸含量及其组成、微生物区系、土壤蛋白酶和酰胺酶活性等测定;将室温存放的土样风干后分别制备成通过2、1、0.149 mm筛的样品,用于相关土壤理化性质测定。在野外以随机采样法同时分别采集样区的茶树枯枝落叶和根系样品,采集的样品分别用自来水和蒸馏水洗净后,在90℃烘箱中杀青0.5 h,然后在50~60℃下烘干,烘干的根系和枯枝落叶样品采用植物粉碎机分别粉碎后供核磁共振分析。

1.3 土壤SON及氨基酸组成测定

土壤SON含量采用土壤总可溶性氮(Total soluble nitrogen, TSN)含量与可溶性无机氮含量(Soluble inorganic nitrogen, SIN)差减法计算^[14]。土壤TSN、氨基酸总量及其组成采用蒸馏水(70℃)提取法,具体步骤为:取4 g于4℃恒温保存的新鲜土样于带盖的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。提取液中的TSN采用高温催化氧化-SHIMADZU TOC-VC/CPH/CPN分析仪测定,铵态氮和硝态氮采用LACHAT Quickchem离子自动分析仪测定^[14],氨基酸及其组成采用日立8800氨基酸全自动分析仪测定,其他SON采用土壤SON与氨基酸总量差减法计算。

1.4 茶树枯枝落叶及根系有机碳成分分析

采用核磁共振光谱仪分析茶树枯枝落叶和根系的有机碳组成,在 100.6 MHz 的核子旋进磁力仪上获得茶树枯枝落叶和根系的固态 ^{13}C 核磁共振光谱。将样品放在一个磁力仪转子上,其外径为 7 mm,发射机频率为 5 MHz,每个接触时间为 2 s,采集样品时间为 13.6 ms。所有样品大约采集 9000 个瞬态,其化学位移值范围为 105 ppm。茶树残体固态 ^{13}C 核磁共振光谱可分为四个普通化学位移区域:烷基碳(0~50 ppm)、氧化烷基碳(50~110 ppm)、芳烃碳(110~160 ppm)和羧基碳(160~210 ppm),每个区域的相关强度是由核子旋进磁力仪的相关软件程序计算得出。采用烷基碳(0~50 ppm)和氧化烷基碳(50~110 ppm)之比作为表征分解程度和土壤有机碳质量的指标^[15]。

1.5 土壤相关性性质分析

土壤微生物区系参照 Frostegård 等^[16]的提取方法,采用磷脂脂肪酸(Phospholipid Fatty Acid, PLFA)谱图法测定。PLFA 采用 Agilent 6890N 气相色谱仪分析,各 PLFA 含量以 PLFA 总量的 mol% 表示,利用美国 MIDI 公司开发的 Sherlock MIS 4.5 系统软件,以 PLFA 作为微生物群落的标记物,识别并定量描述微生物群落结构,以特征 PLFA 指示细菌、真菌和放线菌^[16-17]。土壤细菌数量为 i15:0、a15:0、15:0 3OH、i16:0、a16:0、16:1 2OH、16:1ω5c、10Me 16:0、16:1ω7c、i17:0、a17:0、10Me 17:0、18:1ω7c 和 cy19:0ω7c 特征

PLFA 含量之和^[18-19],土壤真菌数量为 18:2ω6、9、18:1ω9c 和 18:3ω6c 特征 PLFA 含量之和^[19-20]。土壤蛋白酶和天门冬酰胺酶活性分别采用茚三酮比色法和扩散法测定^[21],土壤 pH、有机质、全氮、碱解氮分别采用酸度计法(土/水=1:2.5)、重铬酸钾容量法、半微量开氏法和碱解扩散法测定,土壤机械组成采用吸管法测定^[22]。

1.6 数据统计分析

借助 DPS6.85 统计软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种茶园土壤理化和生化性质差异

表 1 结果表明,供试黄金桂和福云 6 号两种茶园 0~15 cm 土层砂粒、粉粒和黏粒含量分别介于 10.1%~13.7%、40.5%~46.0% 和 43.6%~48.7%,两品种间均无显著差异,说明其质地类型相似,均属粉粘壤质地类型。这是由两种茶园土壤发育于相同成土母质所决定的。供试两种茶园土壤 pH 介于 3.4~4.3 之间,均呈强酸性,其中黄金桂土壤 pH 明显高于福云 6 号,两者之间的差异达显著水平($P<0.05$)。供试两种茶园土壤全碳、全氮含量分别介于 10.7~12.8、0.47~0.62 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中黄金桂土壤全碳含量显著高于福云 6 号,而全氮含量虽高于福云 6 号,但两者间差异不显著。供试两种茶园土壤碱解氮含量介于 61.02~95.40 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中黄金桂土壤碱解氮含量比福云 6 号高 10.41%,但两者间差异不显著。供试两种茶园土壤天门冬酰胺酶、蛋白酶活性分别介于 0.25~0.37、3.10~10.94 NH_4^{+} -

表 1 供试茶园 0~15 cm 土层相关理化和生化性质

Table 1 Physicochemical and biochemical properties of topsoils (0~15 cm) of tea plantations

土壤性质 Soil property	福云 6 号 Fuyun 6				黄金桂 Huangjingui			
	上坡 US	中坡 MS	下坡 LS	平均 Mean	上坡 US	中坡 MS	下坡 LS	平均 Mean
砂粒 Sand/%	10.4	12.5	10.1	11.0aA	12.9	13.7	10.8	12.5aA
粉粒 Silt/%	46.0	40.7	41.2	42.6aA	40.5	42.1	41.0	41.2aA
黏粒 Clay/%	43.6	46.9	48.7	46.4aA	46.6	44.2	48.2	46.4aA
全碳 Total C/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	10.70	12.20	12.60	10.70aA	10.70	12.80	11.90	11.80bA
全氮 Total N/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	0.47	0.57	0.62	0.55aA	0.57	0.62	0.59	0.59aA
碱解氮 Available N/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	61.02	95.40	91.40	82.60aA	94.87	85.27	93.47	91.20aA
pH	3.90	3.40	4.30	3.80aA	4.30	4.20	4.30	4.30bA
天门冬酰胺酶 Asparaginase/ $\text{NH}_4^{+}\text{-N}\cdot\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$	0.25	0.37	0.35	0.32aA	0.27	0.31	0.31	0.30aA
蛋白酶 Protease/ $\text{NH}_4^{+}\text{-N}\cdot\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$	3.10	10.94	9.49	7.84aA	6.45	9.41	9.88	8.58bA
细菌 Bacteria/mol%	43.9	45.7	45.3	45.0aA	46.7	45.0	46.2	46.0aA
真菌 Fungi/mol%	25.1	19.7	20.0	21.6bA	19.7	16.1	15.4	17.0aA

注:均值后面的大写(小写)字母不同表示两种茶树品种之间差异达 $P<0.01$ ($P<0.05$) 水平的显著性差异。

Note: Means in column followed by different capital (lowercase) letters are significantly different between tea cultivars at 1% (5%) level; US—Upper slope, MS—Middle slope, LS—Lower slope.

$\text{N mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, 其中黄金桂土壤蛋白酶活性显著高于福云 6 号($P<0.05$),但两者间天门冬酰胺酶活性差异未达显著水平。供试两种茶园土壤细菌、真菌生物量分别介于 43.9~46.7、15.4~25.1 mol%,其中黄金桂土壤细菌生物量高于福云 6 号,但两者间差异不显著,而福云 6 号土壤真菌生物量比黄金桂高 27.06%,且两者间差异达显著水平($P<0.05$)。可见,供试两种茶园土壤微生物区系构成均以细菌占优势,但酸性较强的福云 6 号土壤真菌量较高。

2.2 不同品种茶树残体有机碳成分差异

茶树残体是茶园土壤 SON 的主要来源之一,其有机碳成分及其分解难易程度不仅关系到茶园土壤 SON 含量的高低,而且影响茶园土壤 SON 的组成。从茶树残体的碳/氮分析来看(表 2),供试的黄金桂和福云 6 号茶树根系碳/氮比均高于枯枝落叶,分别是枯枝落叶碳/氮的 2.70、2.75 倍,而供试黄金桂枯枝落叶和根系的碳/氮均高于福云 6 号,分别比福云 6 号高 76.98%和 73.20%。 ^{13}C 核磁共振光谱分析结果表明(表 2),供试的黄金桂和福云 6 号茶树枯枝落叶的碳功能组的成分差异不大,但黄金桂根系中相对难分解的碳组分(如烷基碳、芳烃碳和羧基碳)含量均低于福云 6 号,仅分别为福云 6 号根系中相应碳功能组分含

量的 82.69%、91.18%和 89.61%,而其根系中易分解碳组分(如氧化烷基碳)的含量则高于福云 6 号,比福云 6 号根系中的氧化烷基碳含量高 8.56%;黄金桂茶树根系和枯枝落叶中的烷基碳/氧化烷基碳值均低于福云 6 号,仅分别为福云 6 号的 76.92%和 92.96%。

2.3 不同品种茶园土壤 SON 组成差异

由表 3 结果可见,供试的黄金桂茶园 0~15 cm 土层氨基酸含量均值比福云 6 号茶园土壤高 $3.49\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,两者间呈极显著差异($P<0.01$);黄金桂茶园 0~15 cm 土层氨基酸总量与 SON 总量的比值较福云 6 号茶园高 17.53%,两者间差异达显著水平($P<0.05$)。供试黄金桂茶园 0~15 cm 土层其他 SON 含量均值也高于福云 6 号,比福云 6 号茶园高 3.59%,而福云 6 号茶园 0~15 cm 土层其他 SON 量与 SON 总量的比值则高于黄金桂茶园,比黄金桂茶园高 6.53%,但两种茶园土壤之间其他 SON 含量及其与 SON 总量的比值均无显著差异。上述结果表明,两种供试茶园土壤 SON 组成中氨基酸所占比例不高,均以其他 SON(如氨基糖、肽、酰胺类及活性蛋白质等)占优势。

2.4 不同品种茶园土壤氨基酸组成及差异

由表 4 结果可以看出,供试黄金桂和福云 6 号茶园 0~15 cm 土层游离氨基酸种类相同,均由 16 种氨

表 2 茶树残体有机碳成分的 ^{13}C 核磁共振光谱分析

Table 2 Composition of organic carbon in tea leaf litters and roots by ^{13}C CPMAS NMR spectroscopy

茶树残体 Root or litter	茶树品种 Tea cultivar	C/%	N/%	C/N	烷基碳 Alkyl C/%	芳烃碳 Aromatic and olefinic C/%	羧基碳 Carboxyl C/%	氧化烷基碳 O-Alkyl C/%	烷基碳/氧化烷基碳 Alkyl C/O-Alkyl C
根系 Root	福云 6 号 Fuyun 6	47.90	1.38	34.70	15.60	17.00	7.70	59.60	0.26
	黄金桂 Huangjingui	47.80	0.80	60.10	12.90	15.50	6.90	64.70	0.20
枯枝落叶 Litter	福云 6 号 Fuyun 6	39.80	3.15	12.60	30.80	15.60	10.20	43.40	0.71
	黄金桂 Huangjingui	41.30	1.85	22.30	29.50	15.30	10.50	44.70	0.66

表 3 供试茶园 0~15 cm 土层可溶性有机氮组成

Table 3 Components of soil SON in 0~15 cm layer of tea plantations

茶树品种 Tea cultivar	坡位 Slope position	土壤 SON 组成 Soil SON components			
		氨基酸 Amino acid/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	比例 Percentage/%	非氨基酸 SON Non-amino acid SON/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	比例 Percentage/%
福云 6 号 Fuyun 6	上坡 US	6.78	43.97	8.64	56.03
	中坡 MS	6.60	23.32	21.69	76.68
	下坡 LS	6.75	24.83	20.44	75.17
	平均 Mean	6.71aA	30.71aA	16.92aA	69.29aA
黄金桂 Huangjingui	上坡 US	10.71	45.10	13.04	54.90
	中坡 Ms	8.78	28.95	19.84	71.05
	下坡 LS	11.10	35.96	19.77	64.04
	平均 Mean	10.20bB	37.24bA	17.55aA	62.76aA

注:均值后的大写(小写)字母不同表示两种茶树品种之间差异达 $P<0.01$ ($P<0.05$)水平的显著性差异。

Note: Means in a row followed by different capital(lowercase) letters are significantly different between tea cultivars at 1%(5%) level.

表 4 供试茶园 0~15 cm 土层氨基酸类型与含量
Table 4 Type and content of soil amino acids in 0~15 cm layer of tea plantations

氨基酸类型 Types of amino acids		黄金桂土壤 Huangjingui/mg·kg ⁻¹	福云 6 号土壤 Fuyun 6/mg·kg ⁻¹
酸性氨基酸 Acidic amino acids	天门冬氨酸 Asparaginic acid	0.273	0.210
	谷氨酸 Glutamic acid	0.400	0.635
	合计 Sum	0.673aA	0.845aA
碱性氨基酸 Alkaline amino acids	赖氨酸 Lysine	0.090	0.105
	组氨酸 Histidine	0.070	0.035
	精氨酸 Arginine	0.113	0.115
	合计 Sum	0.273aA	0.255aA
中性氨基酸 Neutral amino acids	脯氨酸 Proline	0.337	0.115
	苏氨酸 Threoline	1.177	1.030
	丝氨酸 Serine	0.807	0.740
	甘氨酸 Glycine	0.460	0.300
	丙氨酸 Alanine	0.940	0.605
	缬氨酸 Valine	1.017	0.665
	异亮氨酸 Isoleucine	0.580	0.355
	亮氨酸 Leucine	1.470	0.945
	苯丙氨酸 Phenylalanine	0.930	0.335
	合计 Sum	7.677bA	5.090aA
含硫氨基酸 Sulfur amino acids	甲硫氨酸 Methionine	0.270	0.065
	胱氨酸 Cystine	0.117	0.065
	合计 Sum	0.387bB	0.130aA

注:合计值后的大写(小写)字母不同表示两种茶树品种之间差异达 $P<0.01$ ($P<0.05$) 水平的显著性差异。

Note: Sum data in a row followed by different capital(lowercase) letters are significantly different between tea cultivars at 1%(5%) level.

氨基酸组成。黄金桂茶园 0~15 cm 土层游离氨基酸以亮氨酸、苏氨酸、缬氨酸、丙氨酸、苯丙氨酸和丝氨酸含量相对较高,分别占游离氨基酸总量的 16.97%、13.58%、11.74%、10.85%、10.73%和 9.31%;异亮氨酸、谷氨酸和甘氨酸含量次之,分别占游离氨基酸总量的 6.69%、5.31%和 4.62%。福云 6 号茶园 0~15 cm 土层游离氨基酸种类以苏氨酸、亮氨酸、丝氨酸、缬氨酸、谷氨酸、丙氨酸含量相对较高,分别占游离氨基酸总量的 16.64%、15.27%、11.95%、10.74%、10.26%和 9.77%;异亮氨酸、苯丙氨酸和甘氨酸含量次之,分别占游离氨基酸总量的 5.74%、5.41%和 4.85%。可见,供试的黄金桂和福云 6 号茶园土壤游离氨基酸类型组成以亮氨酸、苏氨酸、缬氨酸、丙氨酸、苯丙氨酸、丝氨酸和谷氨酸占优势。从两种供试茶园土壤游离氨基酸种类含量比较来看,除谷氨酸、赖氨酸和精氨酸外,其他 13 种氨基酸含量都表现为黄金桂茶园土壤高于福云 6 号茶园,其中以脯氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、丙氨酸、甘氨酸和缬氨酸含量相对较高,分别比福云 6 号茶园高 193.04%、177.61%、100.00%、63.38%、55.56%、55.37%、53.33%

和 52.93%。

按照 Campbel 等对氨基酸的分类标准,供试黄金桂和福云 6 号茶园土壤游离氨基酸主要由中性氨基酸(脯氨酸、苏氨酸、丝氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸)和酸性氨基酸(天门冬氨酸和谷氨酸)组成。黄金桂和福云 6 号茶园 0~15 cm 土层均以中性氨基酸含量最高,分别占游离氨基酸总量的 85.20%和 80.54%;酸性氨基酸含量次之,占游离氨基酸总量的 7.47%和 13.37%;碱性氨基酸和含硫氨基酸含量较小,仅分别占游离氨基酸总量的 3.03%和 4.03%、4.29%和 2.06%。可见,供试黄金桂和福云 6 号茶园土壤游离氨基酸均以中性氨基酸占优势,而碱性氨基酸含量则很少。就不同品种茶园土壤氨基酸类别含量比较而言,供试黄金桂茶园 0~15 cm 土层中性氨基酸含量均值($7.68 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)比福云 6 号茶园($5.09 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)高 50.88%,两者间呈显著差异($P<0.05$);酸性氨基酸含量均值则表现为福云 6 号茶园>黄金桂茶园,比黄金桂茶园土壤均值高 $0.172 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,但两种茶园间无显著性差异;碱性氨基酸含量均值表现为黄金桂茶园($0.273 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)高于福云 6 号

茶园 ($0.255 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 比福云 6 号茶园土壤均值高 7.05%, 两者间差异也不显著; 含硫氨基酸含量也表现为黄金桂茶园高于福云 6 号茶园, 比福云 6 号茶园土壤均值高 $0.257 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 且两者间差异达极显著水平 ($P < 0.01$)。

2.5 茶园土壤 SON 及其组分与土壤性质的关系

土壤 SON 是土壤有机氮在微生物和相关酶作用下分解的产物, 故茶园土壤 SON 及其组分必然受土壤有机碳、微生物区系、相关酶活性等土壤理化和生化性质的影响。相关分析结果表明(表 5), 供试茶园土壤 SON、氨基酸和非氨基酸 SON 含量与砂粒、粉粒、黏粒含量以及 pH 值的相关性均未达显著水平, 表明这些理化性质对茶园土壤的 SON 及其组分含量的影响不明显。土壤 SON 含量与全碳、全氮和碱解氮含量、天门冬酰胺酶和蛋白酶活性以及细菌和真菌生物量的相关性均达到极显著水平, 相关系数介于 $0.620 \sim 0.898$ ($r_{0.01} = 0.590, n = 16$); 土壤氨基酸含量与全碳、全氮和碱解氮含量、蛋白酶活性以及细菌和真菌生物量的相关性均达到极显著水平, 相关系数介于 $0.596 \sim 0.804$; 土壤非氨基酸 SON 含量与全碳和碱解氮含量、天门冬酰胺酶和蛋白酶活性以及细菌生物量的相关性也均达极显著水平, 相关系数介于 $0.712 \sim 0.772$; 土壤非氨基酸 SON 含量与全氮含量的相关性达显著水平, 相关系数为 0.566 ($r_{0.05} = 0.468, n = 16$)。上述结果表明, 供试茶园土壤的全碳、全氮和碱解氮含量、天门冬酰胺酶和蛋白酶活性以及细菌和真菌的生物量对土壤 SON 及其组分含量具有显著影响。

3 讨论

3.1 茶树品种对土壤 SON 组成的影响

可溶性有机氮组成可能随生态系统内外的变化而改变, 主要取决于其来源, 也会因土壤类型和土地利用的不同而异^[8]。有研究表明, 耕作土壤中游离氨基酸和氨基糖在可溶性有机氮比例中小于 5%, 杂环氮占 15%, 氨氮(肽和蛋白质)占 35%~57%^[1, 8, 23]; 森林土壤中游离氨基酸占可溶性有机氮的 1.5%~25%^[8, 23]。本研究结果中, 供试茶园表层土壤中氨基酸含量占 SON 的 23.32%~45.10%, 表明供试茶园生态系统土壤 SON 组成与其他生态系统相似, 也是以非氨基酸的其他 SON(杂环氮、氨基糖、肽和蛋白质等)占优势, 但供试黄金桂表层土壤氨基酸占 SON 总量的比例显著高于福云 6 号, 而福云 6 号表层土壤其他 SON 占 SON 总量的比例则高于黄金桂, 表明茶树品种对供试茶园土壤 SON 组成具有不同程度的影响。这主要是由于不同茶树品种凋落物与根系残体的成分不同影响了有机氮的分解程度, 进而影响土壤 SON 的组成。上述供试茶树有机残体 ^{13}C 核磁共振光谱分析显示, 黄金桂枯枝落叶和根系的有机碳构成中相对稳定碳群(如羧基碳、烷基碳和芳烃碳)含量低于福云 6 号, 相对易变碳群(氧化烷基碳)含量则高于福云 6 号, 烷基碳/氧化烷基碳的比值低于福云 6 号, 表明进入黄金桂茶园土壤的茶树残体中易分解的有机氮数量较高, 相对易于分解形成低分子量的氨基酸, 致使其 SON 组成中氨基酸所占比例显著高于福云 6 号茶园。此外, 植物

表 5 供试茶园土壤 SON 及其组分与土壤理化、生化性质的相关性

Table 5 Correlation between SON component and soil physiochemical or biochemical properties in tea plantations

土壤性质 Soil property	SON 组分 SON components		
	可溶性有机氮 SON	氨基酸 Amino acid	非氨基酸 SON Non-amino acid SON
砂粒 Sand	0.295	0.395	0.165
粉粒 Silt	0.216	0.309	0.326
黏粒 Clay	0.212	0.057	0.303
pH	0.071	0.431	0.143
全碳 Total C	0.865**	0.720**	0.722**
全氮 Total N	0.771**	0.784**	0.566*
碱解氮 Availble N	0.898**	0.705**	0.772**
天门冬酰胺酶 Asparaginase	0.673**	0.383	0.657**
蛋白酶 Protease	0.812**	0.596**	0.712**
细菌 Bacteria	0.889**	0.804**	0.715**
真菌 Fungi	0.620**	0.695**	0.420

注: * 和 ** 分别表示显著 ($P < 0.05$) 和极显著 ($P < 0.01$) 相关。

Note: * and ** indicate significant correlation at 5% and 1% level, respectively.

种类可以通过养分吸收利用、有机物输入的数量和质量等影响土壤微生物等生化性质,进而对土壤碳氮循环产生影响^[24]。相关性分析结果表明,供试茶园土壤游离氨基酸含量与有机质含量、占优势的细菌生物量及蛋白酶活性均呈极显著正相关(表5)。总体而言,黄金桂茶园土壤的有机碳含量、细菌生物量及蛋白酶活性均高于福云6号,故土壤有机碳量越高,细菌生物量也越高,蛋白酶活性也就越强,越有利于有机氮的矿化,形成低分子量的氨基酸,从而导致黄金桂茶园土壤游离氨基酸含量显著高于福云6号。

3.2 茶树品种对土壤氨基酸类型的影响

土壤可溶性有机氮中氨基酸的成分往往会因土壤类型、植物种类和其他环境条件的不同而异。北方森林土壤采用水提取出的氨基酸中丙氨酸、谷氨酸、天门冬氨酸、精氨酸和甘氨酸占50%以上^[25];温带地区松树和柏树下的有机层中含有大量的丝氨酸、谷氨酸、亮氨酸、鸟氨酸、丙氨酸、天门冬氨酸等^[26];果树土壤渗出液中氨基酸种类主要包含丙氨酸、甘氨酸、谷氨酸、丝氨酸和亮氨酸等^[27];农田土壤氨基酸主要由甘氨酸、天门冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、亮氨酸和异亮氨酸等组成^[28]。不同生态系统土壤氨基酸组成以赖氨酸、甘氨酸、天门冬氨酸、丙氨酸、谷氨酸、精氨酸、缬氨酸、苏氨酸和亮氨酸等为主^[10,29];陆地生态系统土壤氨基酸类型以中性氨基酸占优势,其次是酸性氨基酸,碱性和含硫氨基酸含量较低^[10,12-13,29]。供试的黄金桂和福云6号茶园土壤氨基酸组成以亮氨酸、苏氨酸、缬氨酸、丙氨酸、丝氨酸、异亮氨酸、谷氨酸、甘氨酸和苯丙氨酸占优势,合计占土壤氨基酸总量的90%左右;中性氨基酸分别占氨基酸总量的85.20%和80.54%;酸性氨基酸分别占7.47%和13.37%;碱性氨基酸分别占3.03%和4.03%;含硫氨基酸仅分别占4.29%和2.06%。可见,除苯丙氨酸外,供试茶园土壤氨基酸的主成分和类型与已有的研究结果基本一致。王忠英^[30]研究发现茶叶蛋白质中含有较高的芳香烃氨基酸,故供试茶园土壤中苯丙氨酸含量相对较高是因为茶树枯枝落叶进入土壤后茶叶蛋白质的分解所致。从两种供试茶园土壤氨基酸组成含量比较来看,除谷氨酸、赖氨酸和精氨酸外,其他13种氨基酸含量都表现为黄金桂茶园高于福云6号茶园,其中以脯氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、丙氨酸、甘氨酸和缬氨酸等中性氨基酸含量相对较高,分别比福云6号茶园土壤高193.04%、177.61%、100.00%、63.38%、55.56%、55.37%、53.33%和52.93%;两种供

试茶园土壤酸性和碱性氨基酸含量差异不明显,但黄金桂茶园土壤中性含硫氨基酸含量分别显著和极显著高于福云6号。两种不同品种茶园表层土壤中氨基酸组成及其含量产生上述差异的原因一方面是由于黄金桂的枯枝落叶和根系中蛋白质等易分解碳群的含量较福云6号高,而茶叶蛋白质则以中性氨基酸占优势^[30];另一方面可能是由于不同品种茶树中与氨基酸相关的蛋白质组分及其含量(如含硫蛋白质等)不同所致。这有待于进一步的深入研究。

4 结论

(1)供试黄金桂和福云6号茶园表层土壤SON组成均以非氨基酸的SON占优势,但黄金桂茶园表层土壤氨基酸含量极显著高于福云6号;两种茶园表层土壤氨基酸均以中性氨基酸占优势,但黄金桂茶园表层土壤中性含硫氨基酸含量分别显著和极显著高于福云6号;两种茶园表层土壤氨基酸种类组成相同,但黄金桂茶园表层土壤的脯氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、丙氨酸、甘氨酸和缬氨酸含量高于福云6号。

(2)陆地生态系统土壤SON组成受诸多因素的影响,除活性氨基酸外,国内外至今对土壤SON中的非氨基酸组分尚不十分清楚,但研究均表明非氨基酸组分是土壤SON的主要组成部分,可能包括氨基糖、酰胺、多肽和蛋白质等。由于研究条件的制约,本研究尚未深入研究不同品种茶园土壤SON中的非氨基酸组分及其差异,故有关茶树品种对土壤SON中占优势的非氨基酸组分的影响值得进一步深入研究。

参考文献:

- [1] Murphy D V, Macdonald A J, Stockdale E A, et al. Soluble organic nitrogen in agricultural soil[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2000, 30(5-6):374-387.
- [2] Chen C R, Xu Z H. Analysis and behavior of soluble organic nitrogen in forest soils: A review[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2008, 8(6):363-378.
- [3] Hannam K D, Prescott C E. Soluble organic nitrogen in forests and adjacent clear cuts in British Columbia[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2003, 33(9):1709-1718.
- [4] Prastowo E, Yuniasih E E, Baon J B. Effects of agricultural practices on soil organic nitrogen fractions in an Inceptisol of cocoa plantation[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2013, 3(11):878-885.
- [5] Sainju U M, Stevens W B, Evans R G, et al. Irrigation system and tillage effects on soil carbon and nitrogen fractions[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2013, 77(4):1225-1234.

- [6] Nancy R, Werdin P, Knut K, et al. Soil amino acid composition across a boreal forest successional sequence[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(6):1210-1220.
- [7] Streeter T C, Bol R, Bardgett R D. Amino acids as a nitrogen source in temperate upland grasslands: The use of dual labeled (^{13}C , ^{15}N) glycine to test for direct uptake by dominant grasses[J]. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 2000, 14(15):1351-1355.
- [8] Paul J P, Williams B L. Contribution of α -amino N to extractable organic nitrogen (DON) in three soil types from the Scottish uplands[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(4):801-803.
- [9] Currie W S, Aber J D, McDowell W H, et al. Vertical transport of dissolved organic C and N under long-term N amendments in pine and hardwood forests[J]. *Biogeochemistry*, 1996, 35(3):471-505.
- [10] 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.
LI Shi-qing, LI Sheng-xiu, YANG Zheng-liang. Constituent and amount of amino acid in different ecological system soils[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(3):379-386.
- [11] 严德翼, 赵志萍. 几种石灰性土壤游离氨基酸的研究[J]. *江苏农业科学*, 2009(4):341-342.
YAN De-yi, ZHAO Zhi-ping. Study on free amino acid in some calcareous soils[J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2009(4):341-342.
- [12] 周克瑜, 施书莲. 我国几种主要土壤中氮素形态分布及其氨基酸组成[J]. *土壤*, 1992, 24(6):285-288.
ZHOU Ke-yu, SHI Shu-lian. The nitrogen form contribution and amino acid composition of some major soils in China[J]. *Soil*, 1992, 24(6):285-288.
- [13] 郭新春, 曹裕松, 邢世和. 闽北3种人工林土壤游离氨基酸组成及其差异研究[J]. *江西师范大学学报*, 2013, 37(3):310-315.
GUO Xin-chun, CAO Yu-song, XING Shi-he. Composition of soil free amino acid and its difference in three forest plantations in North Fujian[J]. *Journal of Jiangxi Normal University*, 2013, 37(3):310-315.
- [14] Chen C R, Xu Z H, Zhang S L, et al. Soluble organic nitrogen pools in forest soils of subtropical Australia[J]. *Plant and Soil*, 2005, 277(1-2):285-297.
- [15] Xing S H, Chen C R, Zhang H, et al. Genotype and slope position control on the availability of soil soluble organic nitrogen in tea plantations[J]. *Biogeochemistry*, 2011, 103(1-3):245-261.
- [16] Frostegard Å, Tunlid A, Bååth E. Microbial biomass measured as total lipid phosphate in soils of different organic content[J]. *Journal of Microbiological Methods*, 1991, 14(3):151-163.
- [17] 焦晓丹, 吴凤芝. 土壤微生物多样性研究方法的进展[J]. *土壤通报*, 2004, 35(6):15-20.
JIAO Xiao-dan, WU Feng-zhi. Progress of the methods for studying soil microbial diversity[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(6):15-20.
- [18] Bååth E, Anderson T H. Comparison of soil fungal/bacterial ratios in a pH gradient using physiological and PLFA-based techniques[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35(7):955-963.
- [19] Marhan S, Kandeler E, Scheu S. Phospholipid fatty acid profiles and xylanase activity in particle size fractions of forest soil and casts of *Lumbricus terrestris* L. (Oligochaeta, Lumbricidae)[J]. *Applied Soil Ecology*, 2007, 35(2):412-422.
- [20] Karlinski L, Ravnskov S, Kieliszewska-Rokicka B, et al. Fatty acid composition of various ectomycorrhizal fungi and ectomycorrhizas of Norway spruce[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(4):854-866.
- [21] 关松荫, 张德生, 张志明. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986:301-308.
GUAN Song-yin, ZHANG De-sheng, ZHANG Zhi-ming. Soil enzyme and research methodology[M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1986:301-308.
- [22] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000:62-77, 132-135, 146-153, 469-489.
LU Ru-kun. Analysis method of soil agrochemistry[M]. Beijing: Chinese Agriculture and Technology Press, 2000:62-77, 132-135, 146-153, 469-489.
- [23] Jones D L, Shannon D, Murphy V D, et al. Role of dissolved organic nitrogen (DON) in soil N cycling in grassland soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36(5):749-756.
- [24] Carrera A L, Mazzarino M J, Bertiller M B, et al. Plant impacts on nitrogen and carbon cycling in the Monte Phytogeographical Province, Argentina[J]. *Journal of Arid Environments*, 2009, 73(2):192-201.
- [25] Nordin A, Högberg P, Näsholm T. Soil nitrogen form and plant nitrogen uptake along a boreal forest productivity gradient[J]. *Oecologia*, 2001, 129(1):125-132.
- [26] Yu Z, Zhang Q, Kraus T E C, et al. Contribution of amino compounds to dissolved organic nitrogen in forest soils[J]. *Biogeochemistry*, 2002, 61(2):173-198.
- [27] Fischer H, Meyer A, Fischer K, et al. Carbohydrate and amino acid composition of dissolved organic matter leached from soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(11):2926-2935.
- [28] 施书莲, 周克瑜, 杨文醒. 土壤剖面不同粒级中氨基酸组成特征[J]. *土壤*, 1998, 30(4):209-213.
SHI Shu-lian, ZHOU Ke-yu, YANG Wen-xing. Characteristics of amino acid composition of different particle grade in soil profile[J]. *Soil*, 1998, 30(4):209-213.
- [29] 王瑞军, 李世清, 张兴昌, 等. 西北地区不同生态系统几种土壤有机氮组分和微生物体氮的差异[J]. *干旱地区农业研究*, 2004, 22(4):21-27.
WANG Rui-jun, LI Shi-qing, ZHANG Xin-chang, et al. Difference of soil organic nitrogen components and microbial biomass nitrogen under different ecosystem in Northwestern China[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2004, 22(4):21-27.
- [30] 王忠英. 茶叶中蛋白的提取及理化性质的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2006:56-58.
WAN Zhong-ying. Study on extraction of tea protein and its physical and chemical properties[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2006:56-58.