

福建安溪不同年限茶树土壤养分与微生物 Biolog 功能多样性的差异分析*

林 生^{1,2} 庄家强² 陈 婷^{1,2} 张爱加² 周明明² 林文雄^{1,2**}

(1. 福建农林大学生命科学学院 福州 350002; 2. 福建农林大学农业生态研究所 福州 350002)

摘 要 茶园提早衰老退化是制约茶叶经济效益的一个关键性问题。以1年生、6年生与20年生茶树土壤为研究对象,对不同年限的茶树土壤养分与微生物多样性进行研究。结果表明:根据《茶叶产地环境技术条件》(NY/T853-2004)的pH和各项肥力指标,1年生茶树土壤的pH为4.73,处于Ⅱ级水平,6年生茶树土壤的pH为4.41,接近Ⅱ级水平,都符合优质、高效、高产茶园土壤的酸碱指标;20年生茶树土壤pH为4.15,接近4.0,呈酸化。6年生茶树土壤的有机质、碱解氮和速效磷都达到肥力Ⅰ级,速效钾处于肥力Ⅲ级,整体肥力水平最好;1年生茶树土壤的速效磷丰富,达到肥力Ⅰ级,碱解氮达到肥力Ⅱ级,有机质和速效钾处于肥力Ⅲ级,肥力处于中等水平;20年生茶树土壤的有机质达到肥力Ⅱ级,碱解氮、速效磷和速效钾都处于肥力Ⅲ级,整体肥力水平最差。基于Biolog平板法的微生物功能多样性研究表明,6年生茶树土壤的微生物群落利用碳源的能力最好,20年生茶树土壤微生物对6类碳源的利用程度都不高,1年生茶树土壤微生物对6类碳源的利用处于中等水平。多样性指数分析表明,6年生茶树土壤微生物群落的Shannon、Brillouin、均匀度、丰富度指数均最高;20年生茶树土壤最低。总之,与6年生和1年生茶树土壤相比,20年生茶树土壤呈现较强酸化,有机质含量比6年生茶树土壤下降47.81%,微生物群落的生理活性最低,生理功能多样性急剧减少。

关键词 茶树 根部土壤 微生物群落 土壤肥力 Biolog 微生物功能多样性
中图分类号: S154.3 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2012)11-1471-07

Analysis of nutrient and microbial Biolog function diversity in tea soils with different planting years in Fujian Anxi

LIN Sheng^{1,2}, ZHUANG Jia-Qiang², CHEN Ting^{1,2}, ZHANG Ai-Jia², ZHOU Ming-Ming², LIN Wen-Xiong^{1,2}

(1. School of Life Sciences, Fujian Agriculture and Forest University, Fuzhou 350002, China;
2. Institute of Agro-ecology, Fujian Agriculture and Forest University, Fuzhou 350002, China)

Abstract Premature aging and degradation of tea gardens have been critical issues limiting the economic development of tea industry. Nutrient and microbial diversity in tea garden soils with different planting years were studied. The study was based on pH and fertility indexes of tea producing environmental conditions (NY/T853-2004). Soil pH of 1-year-old tea was 4.73, which was at grade II level. Also soil pH of 6-year-old tea was 4.41, close to grade II level. Both these grades conformed to acid-base indicators for high quality tea garden soils. The soil pH of 20-year-old tea was 4.15 (less than 4.5 but close to 4.0) and therefore identified as acidic. Organic matter, available N (nitrogen) and available P (phosphorus) in the 6-year-old tea soil were respectively at fertility grade I level. That of available K (potassium) was at grade III level. Available P was abundant in the 1-year-old tea soil, which was at grade I level. While available N was at grade II level, organic matter and available K were at grade III level. In the 20-year-old tea soil, organic matter reached grade II level and available N, P and K reached grade III level. While the 6-year-old tea soil fertility was the best, 1-year-old tea soil fertility was medium and then the 20-year-old tea soil fertility was the worst. Biolog analysis showed that the ability of microbial flora to use six kinds of carbon sources was highest in the 6-year-old tea soil. It was lowest in the 20-year-old tea soil. Microbial utilization of six kinds of carbon sources in the 1-year-old tea soil was moderate. Community diversity indexes

* 福建省教育厅重点项目(JA11075)资助

** 通讯作者: 林文雄(1957—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事作物生理与分子生态等方面研究。E-mail: wenxiong181@163.com
林生(1981—), 男, 博士, 讲师, 主要从事植物抗逆生理与分子生态等方面研究。E-mail: lsjk1958@163.com

收稿日期: 2012-05-27 接受日期: 2012-07-26

analysis showed that the Shannon index, Brillouin index, homogeneity index and richness index of the 6-year-old tea soil were the highest. These indexes were worst in the 20-year-old tea soil. Compared with the 6- and 1-year-old tea soils, the 20-year-old tea soil presented the strongest acidification. Organic matter in the 20-year-old tea soil was 47.81% less than that in the 6-year-old tea soil. Physiological activity of the 20-year-old tea soil microbes was the lowest, which limited physical diversity functions.

Key words Tea tree, Root soil, Microbial community, Soil fertility, Biolog, Microbial functional diversity

(Received May 27, 2012; accepted Jul. 26, 2012)

茶树[*Camellia sinensis* (Linn.) O. Kuntze]属山茶科山茶属茶种, 是一种多年生、木本、常绿植物, 具有保水固土、调节气候、文化旅游等价值, 是我国重要的经济作物之一。现阶段, 我国茶园面积占全国耕地面积的 1.15%, 种植面积居世界第一位^[1]。其初级产品价值占农业总产值的 2.15%, 而茶园生态系统的总价值据估算约为直接经济价值的 3 倍^[2]。据统计, 2007 年中国茶园面积达 140 万 hm^2 , 茶叶的销售额达 320 亿元^[2], 对国计民生和地球生态系统都起到重要作用。

在茶叶生产过程中, 茶树生命周期可达 100 年以上, 而经济生产年限一般为 40~60 年^[3]。但大多数茶园在投产 20 年左右, 由于连年采收及频繁修剪, 加之肥力供应不足, 茶树根部土壤的生物学特性得不到改善, 茶树树势、茶叶产量品质大幅度下降, 形成了低产衰老茶园^[4]。受到耕地数量的限制, 新茶园的开垦受到制约, 因此低产衰老茶园面积不断增加, 严重影响了茶叶的产量与品质, 最终影响整个产茶地区的经济效益。

近年来, 对于如何改造低产衰老茶园, 很多研究人员也相应地提出了一系列改造方法。这些方法包括改树、改土、改园与改肥等^[5]。但是在改造之后, 低产衰老茶园的经济效益也难以恢复到较理想的状态。很多茶农最终另外选择合适的地区开辟新茶园。对于日趋紧张的土地资源, 开辟新茶园无疑给稀缺的土地资源增加了沉重负担, 也给不适宜开辟新茶园的地区增添了极大的生态成本。因此, 探索行之有效的低产衰老茶园改造方法, 是产茶地区维持可持续性发展的一个重要途径。在改造的过程中, 首选的对象应该是茶树根部土壤的整个微生物体系。茶树的连年种植, 也会像其他连作作物一样, 造成微生物系统发生质的变化。其他连作作物, 如设施蔬菜、大豆、花生、辣椒、烟草、太子参等^[6-11], 根际正常的微生物群落结构受到破坏, 微生物多样性水平降低, 病原微生物数量增加。对于这些农作物连作障碍的消减, 许多研究人员应用了不同的微生物有机肥或菌剂等, 主要是用于改善根际的微生物群落结构^[6,8,12-15]。对于茶园土壤随着年限的增加, 其生物学特性与微生态环境是如何发生变化, 以及

针对根部土壤微生物群落的改善方法等研究尚较少。因此, 本研究通过 Biolog 方法测定不同年限茶树(1 年、6 年、20 年)根层土壤微生物对不同碳源利用程度的差异, 通过结合主成分分析, 解释隐含的存在于微生物群落之间的功能差异, 并结合土壤肥力、理化性质的变化了解茶树种植对红壤质量演变及其对微生物生态的影响, 以期对茶园改造、茶园的可持续高产提供理论指导与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤样品取自福建省泉州市安溪县华祥苑茶叶股份有限公司试验茶园。安溪位于福建省中部偏南, 属亚热带湿润气候区, 年均气温 16~20 $^{\circ}\text{C}$, 年降雨量 1 800 mm 左右, 无霜期约 260 d, 土壤为酸性红壤土, 是世界名茶铁观音之乡。截至 2008 年底安溪全县有茶园面积 4 万 hm^2 , 总产量 6 万 t, 涉茶总产值 65 亿元, 全县 112 万人口中有 85 万人口涉茶, 茶产业已成为全县的民生产业^[16]。在试验茶园同一片全年耕作措施一致的坡地, 选择 1 年生、6 年生和 20 年生的茶树, 于 2011 年 7 月采取茶树的根部土壤作为研究对象。采样时, 以茶树主茎为中心在半径约 20~30 cm 的范围内取土, 取土深度为 0~25 cm, 不同土壤样品均通过五点采集, 每个点取 6 个重复, 四分法混匀后装入无菌的牛皮纸袋中, 放入冰盒内带回实验室, 挑取土壤中的残留根系、石块及其他杂质后, 将土壤保存于 -80 $^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱内。

1.2 土壤基本理化性质测定

土壤营养测定参照《土壤农化分析手册》^[17], 有机质的测定采用重铬酸钾容量法, 用硫酸亚铁滴定。土壤 pH 用复合电极法测定。土壤全氮用重铬酸钾-硫酸消化法测定; 水解性氮的测定采用碱解扩散法; 土壤全钾的测定采用氢氧化钠熔融-火焰光度法; 土壤全磷测定采用氢氧化钠-钼锑抗比色法; 速效磷用 0.5 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaHCO_3 浸提, 钼锑抗比色法测定; 速效钾用 1 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 中性 NH_4OAc 浸提, 火焰光度计测定。

1.3 土壤微生物群落功能多样性测定

土壤微生物群落功能多样性采用 31 种碳源的

Biolog ECO 微平板法进行测定^[18-20], 其土壤样品的处理与 ELSIA 反应参照杨宇虹等^[21]所介绍的方法。将 Biolog ECO 平板预热到 25 °C, 用移液器取 150 μL 提取液于各个孔中, 28 °C 恒温培养, 在 0 h、24 h、48 h、72 h、96 h、120 h、144 h、168 h 用 ELISA 反应平板读数器读取 590 nm 的吸光值。

土壤微生物群落 ELISA 反应采用 Biolog ECO 平板每孔颜色平均变化率 *AWCD* (average well color development) 表示。 $AWCD = \sum(C-R)/n$, 其中 *C* 是所测定的 31 个碳源孔的吸光值, *R* 为对照孔的吸光值, *n* 为碳源的数目。土壤微生物群落功能多样性指数计算参照植物生态学的方法^[22], 计算采用反应 96 h 后的测定结果。

Simpson 指数计算公式为:

$$1/D = [\sum n_i(n_i - 1) / N(N - 1)]^{-1} \quad (1)$$

Shannon 指数 (*H*) 计算公式为:

$$H = -\sum P_i \times \ln P_i \quad (2)$$

式中, $P_i = (C_i - R) / \sum(C_i - R)$ 。Brillouin 指数计算公式为:

$$H = (1/N) \ln [N! / (n_1! n_2! n_3! n_4! \dots n_n!)] \quad (3)$$

均匀度指数计算公式为:

$$E = (N - U) / (N - N/\sqrt{S}) \quad (4)$$

群落丰富度指数 (*S*) 用碳源代谢孔的数目 (*AWCD* > 0.2 则代表该孔碳源被利用, 该孔即为反应孔) 表示群落丰富度指数。式中, P_i 为第 *i* 孔相对吸光值 (*C*-*R*) 与整个平板相对吸光值总和的比率, *S* 为颜色变化孔的数目, n_i 为第 *i* 孔相对吸光值 (*C*-*R*), *N* 为吸光值总和。

1.4 数据分析方法

测定数据利用 Excel 进行数据初处理和制图, 采用 DPS 7.05 软件进行统计方差分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 不同年限茶树根部土壤理化性质与养分对比分析

不同土壤样品的 pH 检测结果表明, 1 年生茶树土壤的 pH 最大, 为 4.73, 20 年生茶树土壤的 pH 最小, 为 4.13。不同年限茶树土壤的 pH 随着年份增加, 呈下降趋势, 并存在极显著差异。有机质检测结果

表明, 6 年生茶树土壤的有机质含量最高, 20 年次之, 1 年最低, 1 年生茶树土壤的有机质含量分别为 6 年生和 20 年生茶树土壤的 24.57% 与 49.26%, 差异极显著。20 年生茶树土壤有机质含量比 6 年生茶树土壤下降 47.81%。

在不同茶龄土壤中, 20 年生茶树的全氮、全磷、全钾与碱解氮、速效磷、速效钾的含量最低, 其中速效磷与速效钾的含量极低, 分别为 6 年生茶树土壤的 36.77%、53.85%、68.37%、37.23%、14.45% 与 52.76%, 存在极显著差异, 表明 20 年生茶树土壤的肥力最差。6 年生茶树土壤的全氮、全钾与碱解氮含量高于 1 年生茶树土壤, 全磷、速效磷和速效钾含量低于 1 年生茶树土壤, 表明 6 年生茶树土壤的供氮能力最好, 有效磷与有效钾元素的水平较低 (表 1)。

2.2 不同年限茶树土壤的总 *AWCD* 值分析

Biolog ECO 微平板的 *AWCD* 值表征微生物群落的碳源利用率, 是土壤微生物群落利用单一碳源能力的一个重要指标, 反映了土壤微生物活性、微生物群落生理功能多样性。测定结果 (图 1) 表明, 不同茶龄土壤的微生物对于 Biolog ECO 微平板不同碳源的整体利用程度均随培养时间的增加而增大。在培养过程中, 不同茶龄土壤的总 *AWCD* 值在 24 h 时均变化不大, 说明在 24 h 之内的碳源基本未被利用。在 24 h 后, 6 年生茶树土壤在不同培养阶段的 *AWCD* 值高于其他土壤样品, 且在 48 h 后呈现快速升高的趋势。1 年生茶树土壤与 20 年生茶树土壤的总 *AWCD* 值在 72 h 内相差不大, 1 年生茶树土壤的总 *AWCD* 值在 72 h 后呈现上升趋势, 20 年生茶树土壤的总 *AWCD* 值在 72 h 后出现缓慢增长, 几乎维持不变。不同茶龄土壤不同培养阶段的总 *AWCD* 值表明, 6 年生茶树土壤的微生物群落对于不同碳源的利用能力高于其他茶龄土壤, 其活性优于其他茶龄土壤。

2.3 不同年限茶树土壤微生物利用不同种类碳源的动力学特征分析

图 2 表明, 6 年生茶树土壤的微生物对 6 类碳源的利用均呈随培养时间的延长而逐渐增加的趋势。6

表 1 不同年限茶树根部土壤理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of different planting years tea soil

年限 Year (a)	pH	有机质 Organic matter (g·kg ⁻¹)	全氮 Total N (g·kg ⁻¹)	全磷 Total N (g·kg ⁻¹)	全钾 Total K (g·kg ⁻¹)	碱解氮 Available N (mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available P (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K (mg·kg ⁻¹)
1	4.73±0.02aA	6.32±0.48cC	3.21±0.21bB	0.18±0.03aA	3.89±0.24bB	52.50±0.20bB	78.91±2.09aA	25.09±2.03aA
6	4.41±0.03bB	25.79±0.66aA	4.46±0.58aA	0.13±0.01bB	5.28±0.16aA	119.70±1.06aA	27.33±4.09bB	14.69±0.10bAB
20	4.13±0.02cC	13.46±1.83bB	1.64±0.10cC	0.07±0.01cC	3.61±0.24bB	44.57±0.31cB	3.95±0.16cC	7.75±0.55bB

同列不同小写和大写字母表示 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平差异显著, 下同。Different small and capital letters indicate significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ levels, respectively. The same below.

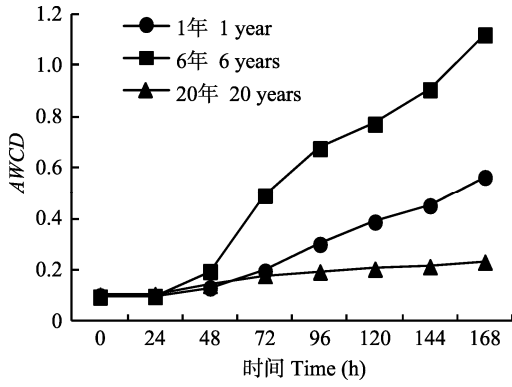


图 1 不同年限茶树土壤微生物利用不同种类碳源的平均颜色变化率(AWCD)

Fig. 1 Average AWCD for microbes using different carbon sources of soil of different planting years tea trees

年生茶树土壤微生物对糖类、氨基酸、羧酸、胺类和酚酸的利用比其他土壤样品有明显优势,而对脂肪酸的利用程度与 1 年生茶树土壤差异不大。1 年生茶树土壤微生物对糖类、脂肪酸、羧酸和胺类 4 类碳源的利用均随时间的延长而增加,对氨基酸和酚酸类的利用几乎不变。20 年生茶树土壤微生物只对羧酸和酚酸类的利用有所增加,对其余 4 类碳源的利用没有明显增加。1 年生茶树土壤微生物对糖、脂肪酸与胺类碳源的利用率高高于 20 年生茶树土壤,存在极显著差异;对氨基酸碳源的利用与 20 年生茶树土壤之间不存在明显差异;对羧酸碳源的利用,在 120 h 之前低于 20 年生茶树土壤,在 168 h 时高于 20 年生茶树土壤,呈极显著差异;对于酚酸的利

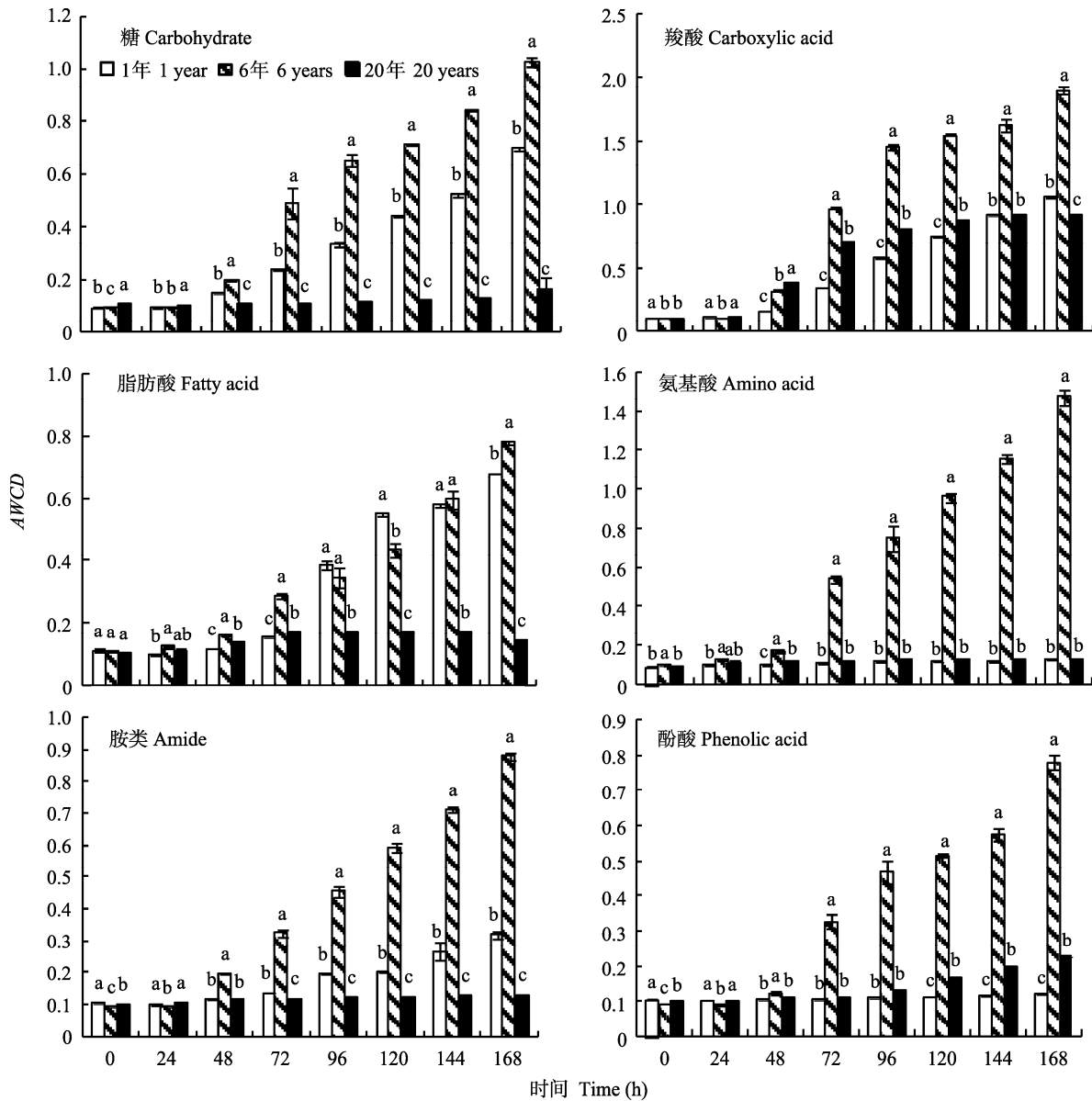


图 2 不同年限茶树土壤不同类型碳源平均颜色变化率(AWCD)随时间的变化

Fig. 2 Dynamics of AWCD of different carbon sources of different planting years tea soil
不同小写字母表示 $P < 0.05$ Different small letters indicate significant difference at $P < 0.05$.

用率, 1 年生茶树土壤低于 20 年生茶树土壤。不同茶龄土壤微生物利用不同种类碳源的动力学特征分析结果表明, 6 年生茶树土壤微生物的生理功能多样性优于其他茶龄土壤, 20 年生茶树土壤的最差。

2.4 不同年限茶树土壤微生物碳源利用特性的主成分分析

利用培养 168 h 后的 *AWCD* 值, 对不同茶龄土壤微生物利用单一碳源特性进行主成分分析, 结果表明(图 3), 与土壤微生物碳源利用功能多样性相关的主成分 1、主成分 2 分别解释变量方差的 61.84% 和 38.16%。经进一步分析发现, 1 年生茶树土壤位于主成分 1 的负端, 主成分 2 的负端; 6 年生茶树土壤位于主成分 1 的正端, 主成分 2 的正端; 20 年生茶树

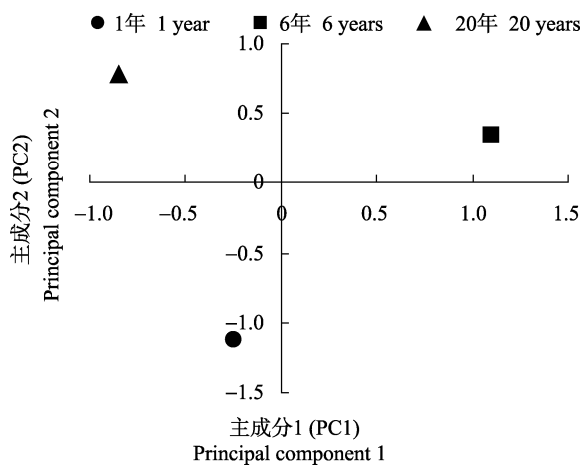


图 3 培养 168 h 土壤微生物碳源利用主成分分析的因子荷载图

Fig. 3 Loadings for principal component analysis (PCA) of carbon sources utilization profiles by soil microbe after cultured for 168 h

土壤位于主成分 1 的负端, 主成分 2 的正端。

主成分得分系数与单一碳源 *AWCD* 值的相关分析结果(表 2)表明, 与主成分 1 正相关的碳源有 11 个, 其中羧酸衍生物 2 个, 分别为吐温 40 和吐温 80; 糖类 5 个, 分别为 D-纤维二糖、D-甘露醇、D-葡糖胺酸、1-磷酸葡萄糖和 D-半乳糖醛酸; 脂肪酸 1 个, 为 α -丁酮酸; 氨基酸 3 个, 分别为 L-精氨酸、甘氨酸-L-谷氨酸和 L-苯丙氨酸。与主成分 2 相关的碳源有 7 个, 其中羧酸衍生物 1 个, 为丙酮酸甲酯; 糖类 4 个, 分别是 D-木糖、1-赤藓糖醇、 α -D-乳糖和 β -甲基-D-葡萄糖苷, 后两者为负相关; 氨基酸和脂肪酸各 1 个, 分别为 L-精氨酸和 D-苹果酸, 都呈负相关。

2.5 不同年限茶树土壤微生物群落多样性指数分析

利用培养 168 h 后 31 种碳源的 *AWCD* 值, 对不同茶龄土壤微生物功能多样性的 Shannon 指数、Brillouim 指数、均匀度与丰富度进行计算分析, 结果(表 3)表明 6 年生茶树土壤的各项指数高于 1 年生茶树土壤与 20 年生茶树土壤, 与 20 年生茶树土壤之间存在显著差异, 其 Brillouin 指数与丰富度指数与 1 年生茶树土壤相比存在显著差异。1 年生茶树土壤微生物功能多样性的各项指数皆高于 20 年生茶树土壤, 并存在显著差异。不同茶龄土壤微生物功能多样性的各项指数比较分析表明, 6 年生茶树土壤中的微生物群落功能多样性丰富, 且不同物种的个体数量分布均匀; 1 年生茶树土壤的微生物群落功能多样性和个体数量分布与 6 年生茶树土壤较为接近; 20 年生茶树土壤的微生物群落功能多样性与均匀程度皆出现了大幅度下降。

表 2 茶树土壤中与主成分 1 和主成分 2 显著相关的主要培养基成分

Table 2 Main components in media significantly correlated with principle components 1 and 2 in PCA for tea tree soil

主成分 Principal component	碳源 Carbon sources	相关系数 Correlation coefficient
主成分 1 Principal component 1	吐温 40 Tween 40	0.95*
	吐温 80 Tween 80	1.00*
	D-纤维二糖 D-Cellobiose	0.98*
	D-甘露醇 D-Mannitol	0.97*
	D-葡糖胺酸 D-Glucosaminic Acid	0.96*
	1-磷酸葡萄糖 Glucose-1-Phosphate	0.99**
	D-半乳糖醛酸 D-Galacturonic Acid	0.96*
	α -丁酮酸 α -Ketobutyric Acid	0.95*
	L-精氨酸 L-Arginine	0.95*
	甘氨酸-L-谷氨酸 Glycyl-L-Glutamic Acid	1.00**
	L-苯丙氨酸 L-Phenylalanine	0.95*
主成分 2 Principal component 2	丙酮酸甲酯 Pyruvic Acid Methyl Ester	1.00**
	α -D-乳糖 α -D-Lactose	-0.99*
	β -甲基-D-葡萄糖苷 β -Methyl-D-Glucoside	-0.99*
	D-木糖 D-Xylose	0.98*
	1-赤藓糖醇 1-Erythritol	1.00**
	L-精氨酸 L-Arginine	-0.99**
	D-苹果酸 D-Malic Acid	-0.99**

表 3 不同年限茶树根际土壤微生物利用培养基多样性指数

Table 3 Diversity indexes of utilized substrates for soil microbe of different planting years tea trees soil

年限 Year (a)	Shannon 指数 Shannon index	Brillouin 指数 Brillouin index	均匀度指数 Evenness index	丰富度指数 Richness index
1	4.340a	2.146b	0.876a	9.000b
6	4.344a	3.034a	0.879a	15.333a
20	4.036b	1.358c	0.815b	2.000c

3 讨论与结论

影响茶树生长、茶叶产量和品质的因素很多,茶树品种、生态环境、栽培技术、采摘质量、加工技术、储藏条件等都是优质茶叶的保证^[23]。土壤是茶树生长与茶叶品质形成的物质基础,只有“好土”才能产“好茶”。随着年限的增加,茶树土壤的微生态环境逐渐劣化,影响了优质茶叶的生产。本研究发 现,随着种植年限的增长,土壤 pH 逐渐降低,20 年生茶树土壤 pH 最低,1 年生茶树土壤 pH 最高。已有研究表明,土壤 pH 在 4.5~6.0 时适宜茶树的生长,其中 5.5 是最适值,当 pH<4.0 时茶树生长受到抑制,影响茶叶产量和品质^[24-26]。根据《茶叶产地环境技术条件》(NY/T8 53—2004)^[27]的 pH 指标,1 年生茶树土壤的 pH 处于 II 级水平,6 年生茶树土壤的 pH 接近 II 级水平,都符合优质、高效、高产茶园土壤的酸碱指标,20 年生茶树土壤 pH<4.5,接近 4.0,呈酸化。由于茶树是喜铵型植物,日本学者认为茶园土壤 pH 下降的一个原因是由于大量施用硫酸铵所致^[28];另外,由于茶叶中含有茶多酚等酸性物质,通过自身物质循环,包括茶树凋落物与修剪叶还园,以及茶树根系代谢^[29],也会导致土壤酸化。

不同茶龄土壤的肥力水平随着种植年限的增加也出现逐渐下降的趋势。与《茶叶产地环境技术条件》(NY/T8 53—2004)^[27]的各项肥力指标相比,1 年生茶树土壤速效磷丰富,达到肥力 I 级,碱解氮达到肥力 II 级,有机质和速效钾处于肥力 III 级;6 年生茶树土壤有机质、碱解氮和速效磷都达到了肥力 I 级,速效钾处于肥力 III 级;20 年生茶园土壤有机质达到肥力 II 级,碱解氮、速效磷和速效钾都处于肥力 III 级。对不同茶龄土壤的肥力分析发现,3 个茶龄土壤的全氮、碱解氮含量中等偏上,全磷与全钾含量偏低,速效磷在 1 年生茶树土壤与 6 年生茶树土壤含量丰富,在 20 年生茶树土壤中含量亏缺,速效钾在 3 个茶龄土壤中都呈亏缺状态。杨冬雪等^[30]对福建省 107 个典型茶园土壤进行取样与分析测定,发现碱解氮含量丰富,肥力优良与尚可达 95.3%,速效磷含量中等水平,肥力优良的达 64.5%,速效

钾亏缺,73.9%的土壤样品落在较差等级。在本研究中,6 年生茶树土壤的肥力最好,1 年生茶树土壤的肥力水平中等,20 年生茶树土壤整体肥力水平最差。

土壤微生物群落与土壤肥力之间有着密切关系,土壤养分含量高低在很大程度上制约着土壤微生物量与生理功能多样性^[31],同时微生物量与生理功能多样性又反过来影响着土壤的肥力^[32-33],两者相互调节与相互影响。通过对不同茶龄土壤不同时段 的总 AWCD 值进行比较,以及对于 6 类碳源利用的动力学分析表明,6 年生茶树土壤的微生物群落利用碳源的能力最好,20 年生茶树土壤微生物对 6 类碳源的利用程度都不高。为了进一步确定不同年份茶树土壤微生物群落生理功能多样性的变化,对其多样性指数和主成分分析进行验证,结果表明,6 年生茶树土壤微生物群落丰富度和功能多样性最高,体现在 Shannon、Brillouin、均匀度与丰富度各项指数最高。通过主成分分析不同年份的茶树土壤微生物群落功能多样性有明显差异,进一步证明随种植年限的增加,不同茶龄土壤微生物群落发生了改变。茶园土壤微生物量较其他旱地土壤大,土壤有机质降解速度快,并能降解一些复杂的有机大分子(如单宁和木质素等)^[34]。一些学者认为随着茶树树龄的增大,根系分泌物减少,对土壤微生物有害作用的酚类等物质的积累而使土壤微生物种群数量下降^[35],并且随着土壤酸度的增加,细菌与放线菌的生长受到抑制^[25]。另外,土壤中有机质含量的高低也会对微生物群落结构产生影响。郑雪芳等^[36]通过对不同海拔茶树根系土壤微生物群落多样性进行分析,发现高海拔处由于低温、潮湿的环境导致土壤积累较多的土壤有机质,其微生物种类最多,分布数量最大。本研究中,20 年生茶树土壤呈现较强酸化,有机质含量比 6 年生茶树土壤下降 47.81%,表现出微生物群落的整体生理活性最低,生理功能多样性急剧减少。

综上所述,茶树作为一种多年生的经济作物,随着茶树树龄的增加,其土壤养分出现亏缺,土壤微生态环境恶化,导致微生物数量和组成发生变化,体现在微生物群落的生理活性降低与功能多样性减少。茶树土壤微生物群落结构与功能多样性劣化,对土壤的物质循环、转换与交替产生了不利影响,从而制约了茶树对土壤营养的良性吸收与利用,造成了茶叶产量与质量的下降。但是,植物根部的土壤是一个极为复杂的综合体,其中不同年限茶树土壤分泌物的具体差异,以及对根系微生物群落结构和功能的特异影响还有待于深入研究。通过这些研

究, 期望能够为低产衰老茶园的改造找到一些问题所在, 并探索一些针对性强且行之有效的方法。

参考文献

- [1] 胡磊, 杨广, 尤民生. 茶园土壤微生物总 DNA 不同提取方法的比较[J]. 基因组学与应用生物学, 2010, 29(2): 361-368
- [2] 李荣林. 茶园生态技术研究[J]. 茶叶通报, 2010, 32(1): 15-17
- [3] 余继忠, 徐家明, 黄海涛, 等. 重修剪、台刈和改植换种三种茶园改造方式的比较[J]. 茶叶科学, 2008, 28(3): 221-227
- [4] 罗长城. 中老龄低产茶园台刈改造与管理技术[J]. 汉中科技, 2010(3): 34-35
- [5] 官由基. 低产茶园改造探讨[J]. 现代农业科技, 2011(2): 100-101
- [6] 赵尊练, 杨广君, 巩振辉, 等. 克服蔬菜作物连作障碍问题之研究进展[J]. 中国农学通报, 2007, 23(12): 278-282
- [7] 邹莉, 袁晓颖, 李玲, 等. 连作对大豆根部土壤微生物的影响研究[J]. 微生物学杂志, 2005, 25(2): 27-30
- [8] 孔祥丽, 任新明. 花生连作障碍的产生机理及防控措施研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(10): 1951-1953
- [9] 贾志红, 易建华, 苏以荣, 等. 烟区轮作与连作土壤细菌群落多样性比较[J]. 生态环境学报, 2010, 19(7): 1578-1585
- [10] 孙继民, 邹学校, 罗尊长, 等. 辣椒连作研究进展[J]. 辣椒杂志, 2011(2): 1-7
- [11] 夏品华, 刘燕. 太子参连作障碍效应研究[J]. 西北植物学报, 2010, 30(11): 2240-2246
- [12] 刘红杰, 刁向银, 刘朝科, 等. 微生物菌剂对植烟连作土壤酶活性的影响[J]. 烟草科技, 2011(5): 66-70
- [13] 刘永录, 李自刚. 复合微生物制剂对怀山药连作障碍的修复机制研究[J]. 河南农业科学, 2010(11): 90-93
- [14] 喻国辉, 谢银华, 陈燕红, 等. 利用微生物缓解苯丙烯酸对黄瓜生长的抑制[J]. 微生物学报, 2006, 46(6): 934-938
- [15] 胡春江, 薛德林, 王书锦, 等. 大豆连作障碍研究III: 海洋放线菌 MB-97 促进连作大豆增产机理[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1095-1098
- [16] 中国茶叶流通协会. 2009 年安溪铁观音(春)茶产销形式分析报告[J]. 茶世界, 2009(9): 18-21
- [17] 劳家桢. 土壤农化分析手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 1988
- [18] Choi K H, Dobbs F C. Comparison of two kinds of biolog microplates (GN and ECO) in their ability to distinguish among aquatic microbial communities[J]. Journal of Microbiological Methods, 1999, 36(3): 203-213
- [19] Marschner P, Neumann G, Kania A, et al. Spatial and temporal dynamics of the microbial community structure in the rhizosphere of cluster roots of white lupin (*Lupinus albus* L.)[J]. Plant and Soil, 2002, 246(2): 167-174
- [20] Jussila M M, Jurgens G, Lindström K, et al. Genetic diversity of culturable bacteria in oil-contaminated rhizosphere of *Galega orientalis*[J]. Environmental Pollution, 2006, 139(2): 244-257
- [21] 杨宇虹, 陈冬梅, 晋艳, 等. 不同肥料种类对连作烟草根际土壤微生物功能多样性的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(1): 105-111
- [22] Ma K P, Liu Y M. Measurement of biological community diversity II adiversity (Part 2)[J]. Chinese Biodiversity, 1994, 2(4): 231-239
- [23] 陈子聪, 颜明娟, 林琼, 等. 茶园土壤物理性状对茶叶品质的影响[J]. 茶叶科学技术, 2009(3): 12-15
- [24] 廖万有. 我国茶园土壤的酸化及其防治[J]. 农业环境保护, 1998, 17(4): 178-180
- [25] 吴云, 杨剑虹, 魏朝富. 重庆茶园土壤酸化及肥力特征的研究[J]. 土壤通报, 2004, 35(6): 715-719
- [26] 罗敏, 宗良纲, 陆丽君, 等. 江苏省典型茶园土壤酸化及其对策分析[J]. 江苏农业科学, 2006, (2): 139-142
- [27] 中华人民共和国农业部. NYT853-2004, 茶叶产地环境技术条件[S]. (2005-01-04 发布, 2005-02-01 实施)
- [28] Burns R G. Soil Enzymes[M]. Chelsea, USA: Lewis Publishers, 1994: 93-97
- [29] 郭琳. 茶园土壤的酸化与防治[J]. 茶叶科学技术, 2008(2): 16-17
- [30] 杨冬雪, 钟珍梅, 陈剑侠, 等. 福建省茶园土壤养分状况评价[J]. 海峡科学, 2010(6): 129-131
- [31] 王俊华, 尹睿, 张华勇, 等. 长期定位施肥对农田土壤酶活性及其相关因素的影响[J]. 生态环境, 2007, 16(1): 191-196
- [32] 周智彬, 李培军. 塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地土壤中微生物的生态分布及其与土壤因子间的关系[J]. 应用生态学报, 2003, 14(8): 1246-1250
- [33] 陆雅海, 张福锁. 根际微生物研究进展[J]. 土壤, 2006, 38(2): 113-121
- [34] Nioh I, Isobe T, Osada M. Microbial biomass and some biochemical characteristics of a strongly acid tea field soil[J]. Soil Sci Plant Nutr, 1993, 39(4): 617-626
- [35] 俞慎, 何振立, 陈国潮, 等. 不同树龄茶树根层土壤化学特性及其对微生物区系和数量的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(3): 433-439
- [36] 郑雪芳, 苏远科, 刘波, 等. 不同海拔茶树根系土壤微生物群落多样性分析[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 866-871