

# 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\*

俞慎 何振立 陈国潮 黄昌勇

(浙江大学华家池校区环境与资源学院资源科学系, 杭州 310029)

**摘要** 研究了红壤茶园中不同树龄茶树根层土壤微生物区系分布和种群结构的变化及其生态学因子。结果表明, 随着树龄的增长, 茶树根层土壤的酸度增加, pH 值下降, 土壤交换性酸组成从交换性  $H^+$  为主转变为以交换性  $Al^{3+}$  为主; 同时, 土壤有机碳、可溶性酚总量和全氮含量随树龄而增加。细菌、放线菌以及微生物总量以树龄 10 年的茶树根层土壤中数量最多, 40 年和 90 年树龄的茶树根层土壤中的较接近; 树龄 10 年和 90 年的茶树根层土壤中真菌数量相当, 其大于 40 年树龄的茶树根层土壤真菌数量; 而芽孢杆菌数量以 40 年树龄茶树根层土壤最多, 而 10 年和 90 年树龄茶树的接近; 茶树根层土壤微生物生物量碳随树龄增长而增加, 但与茶树根层土壤可培养微生物总量无显著相关。茶树根层土壤微生物生物量碳与土壤 pH、有机碳、可溶性酚和全氮分别呈显著 ( $p < 0.05$ ) 或极显著 ( $p < 0.001$ ) 相关。

**关键词** 微生物区系, 土壤微生物生物量碳, 茛三酮反应氮, 茶树, 红壤  
中图分类号 S154.36

茶树是人工密集栽培的经济灌木, 由于茶叶的可观经济收入和茶树的耐酸耐铝毒等特性, 在热带亚热带酸性土壤上广泛种植。近年来, 极端环境的土壤微生物学研究倍受重视, 酸性土壤和淹水土壤(水稻土等)被认为是具有特殊功能的、未知微生物群落的资源库<sup>[1]</sup>。人们已从酸性或极酸性的环境中分离到了嗜酸或耐酸微生物(古细菌、放线菌)<sup>[2~4]</sup>。然而, 相对于其它旱地和水田, 对茶园酸性土壤微生物学和微生物生态的了解甚少。

茶树是喜铝植物, 体内的铝随枯枝落叶回到土壤, 使表层土壤的活性铝增加, 土壤 pH 随种植年限逐渐下降, 植茶 80 年可使土壤 pH 从 5.37 下降为 3.62~4.04<sup>[5]</sup>; 又由于茶树是喜铵型植物, 日本研究者认为茶园土壤 pH 值下降是由于大量施用硫酸铵所致<sup>[6]</sup>。茶园土壤另一个特点是土壤微生物生物量较其它旱地土壤大, 土壤的有机物质降解速度快, 并能降解一些复杂的有机大分子物质(如单宁和木质素等)<sup>[6]</sup>。印度学者 Pandey 和 Palni<sup>[7]</sup>通过对茶园进行一年的根表、根际和非根际土壤微生物群(主要是细菌、真菌和放线菌)的监测后认为茶树的根分泌物对根际微生物有抑制作用, 使得根际和非根际土壤微生物群之比小于 1, 即使是幼茶树的根系分泌物对土壤微生物有刺激生长的作用, 但其比值仍小于 1。我国学者则认为根分泌物使土壤中各类微生物数量分布: 根表 > 根际 > 非根际<sup>[8]</sup>, 但细菌和真菌数量随茶树年龄增大而减少, 放线菌影响较小, 认为是茶树树龄的增大根系分泌物减少而对土壤微生物有毒害作用的酚类等物质的积累而使土壤微生物数量下降<sup>[5,9]</sup>。总之, 了解茶树根际耐酸或嗜酸微生物和具有对复杂有机物质降解的特殊微生物, 对种质资源开发有着重要的意义。同时, 土壤微生物生物量不但在一定程度上反映了土壤微生物的总量<sup>[10]</sup>, 而且可以作为不同生态系统红壤质量的生物指标<sup>[11]</sup>, 因此研究茶树根层土壤微生物生物量的变化, 可以了解茶树种植对红壤质量演变及其对微生物生态的影响。

本文对西湖龙井茶产区——梅家坞的不同种植年限的茶园(10、40、90年)根层土壤微生物生态学特征进行初步探索, 为茶园改造、茶园的可持续高产提供理论指导。

\* 国家杰出青年科学基金项目(编号: 40025104)资助

收稿日期: 2001-01-13; 收到修改稿日期: 2002-04-20

## 1 材料和方法

### 1.1 供试土壤

土壤采自浙江省杭州市西湖区梅家坞谷内中段,是母质为石英砂岩(薄层页岩相间)的红壤。土壤样品分别采自三个不同树龄(10、40、90年)的茶园根层(0~15 cm),土壤质地都为壤土,3次重复,每次重复采10个以上点。土样通过6目(3.36 mm)筛后贮存于4℃的冰箱中,1周内分析土壤微生物生物量和微生物区系。部分土样风干后分别过18目和100目筛,供测定pH等化学性质。土壤基本性质见表1。

表1 供试茶园土壤的基本物理化学性质

Table 1 Some physical and chemical properties of the tested tea garden soils

茶树 Plant	10年茶树 10yrs old tea plants	40年茶树 40yrs old tea plants	90年茶树 90yrs old tea plants
pH	4.98 ± 0.06 aA <sup>1)</sup>	4.72 ± 0.11 bB	4.41 ± 0.06 cC
交换性酸(mmol kg <sup>-1</sup> )			
交换性铝(1/3 Al <sup>3+</sup> )	303.04 ± 211.45 bB	254.03 ± 205.72 bB	1303.41 ± 216.6 aA
交换性H <sup>+</sup>	847.58 ± 149.24 aA	1040.69 ± 100.61 aA	132.82 ± 32.02 bB
交换性酸总量(1/3 Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup> )	1150.62 ± 63.06 ns	1294.72 ± 115.51 ns	1436.23 ± 248.18 ns
土壤机械组成(g kg <sup>-1</sup> )			
粘粒(< 0.002 mm)	242.3 ± 15.0 a	225.6 ± 39.3 a	118.4 ± 60.2 b
粉粒(0.002~ 0.05 mm)	391.8 ± 4.5 ns	471.8 ± 28.3 ns	412.3 ± 71.8 ns
砂粒(> 0.05 mm)	366.0 ± 12.4 ab	302.7 ± 31.0 b	469.3 ± 113.3 a
土壤有机碳(C g kg <sup>-1</sup> ) (OC)	6.17 ± 0.54 cB	19.27 ± 0.45 aA	17.84 ± 0.66 bA
土壤全氮(N g kg <sup>-1</sup> ) (TN)	1.16 ± 0.06 cB	2.25 ± 0.05 aA	2.12 ± 0.02 bA
碳氮比 <sup>2)</sup>	5.35 ± 0.48 bB	8.57 ± 0.25 aA	8.4 ± 0.36 aA
可溶性酚总量(Phenol mg kg <sup>-1</sup> ) (SP)	156.64 ± 57.70 bB	644.4 ± 9.39 aA	724.71 ± 131.65 aA
质地(美国制)	壤土 Loam	壤土 Loam	壤土 Loam

1) 大写字母表示经LSD多重比较后在 $p < 0.01$ 水平显著,小写字母为 $p < 0.05$ 水平显著,ns为不显著

2) 碳氮比C/N = OC/TN

### 1.2 分析方法

土壤全碳用油锅-重铬酸钾容量法分析<sup>[12]</sup>;全氮用凯氏消煮-半微量蒸馏法<sup>[12]</sup>;土壤可溶性酚总量用Folin Ciocalteau's phenol试剂比色法测定<sup>[13]</sup>;土壤总酸度、交换性铝和交换性H<sup>+</sup>用中和滴定法测定<sup>[12]</sup>;土壤粒级分析用比重计法测定<sup>[12]</sup>;pH(1:5土水比)用Beckman pH仪测定。

土壤微生物分析采用平板分离法,细菌培养基为营养琼脂,真菌为马丁氏琼脂培养基,放线菌为改良高氏1号琼脂培养基,芽孢杆菌为麦芽汁-营养琼脂培养基,每次测定重复3次<sup>[14]</sup>。

用氯仿熏蒸-0.5 mol L<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>提取,提取液碳全量用TOC-500(Shimadzu)有机碳自动分析仪测定<sup>[15]</sup>,提取液全氮采用茚三酮反应法测定<sup>[16]</sup>。

### 1.3 数据处理和统计分析

采用软件SAS Release 6.12(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)处理数据。

## 2 结果和讨论

### 2.1 茶树根层土壤pH和交换性酸及其组成的时间变异

茶树根层土壤pH值随树龄增长而下降,树龄10年的新茶树和90年老茶树根层土壤pH值相差0.57(表1),统计分析结果表明茶树根层土壤pH随种植年限增加而下降的趋势达到极显著水平( $p <$

0.01, 下同) ( $r = -0.959, p < 0.001$ , 表3)。该结果和郭荣发和刘腾辉<sup>[7]</sup>、Song和Liu<sup>[5]</sup>和Nioh等<sup>[9]</sup>的研究结果一致。

土壤交换性酸总量及其组成-交换性 $H^+$ 和交换性 $Al^{3+}$ 的结果见表1。茶树根层土壤交换性酸总量和土壤pH一样,随种植年限延长交换性酸总量增加,即土壤酸化,并且树龄10年的新茶树和90年老茶树间的根层土壤交换性酸总量( $H^+ + 1/3Al^{3+}$ )差异也达到极显著,分别约为1151和1436  $mmol\ kg^{-1}$ ,但树龄40年的茶树根层土壤和两者之间无显著性差异。另外,树龄10年和40年茶树间根层土壤交换性 $Al^{3+}$ 无显著差异,而90年树龄茶树根层土壤的交换性 $Al^{3+}$ 显著增加,为10年和40年树龄茶树根层土壤的4倍左右,达到约( $1/3Al^{3+}$ ) 1303  $mmol\ kg^{-1}$ ;交换性 $H^+$ 含量则以90年树龄的茶树根层土壤最小(133  $mmol\ kg^{-1}$ ),仅为10年和40年树龄茶树根层土壤的1/8左右;相关统计分析表明(表3),交换性 $H^+$ 和交换性 $Al^{3+}$ 分别与茶树树龄呈极显著的负相关和正相关。

茶树根层土壤的酸化可能存在两个重要的过程:一是铵态氮肥大量的施用,尤其在茶树的生长和生产旺期。由于追求茶叶的高产和该时期茶树根系的吸收能力强,使茶园土壤,尤其是根层土壤由于茶树根系大量吸收铵离子而酸化。如本文中的树龄10年和40年的茶树根层土壤交换性酸以交换性 $H^+$ 为主。二是茶树的生物富铝作用导致根层土壤酸化,这主要发生在茶树定植年限较长的茶园中<sup>[15]</sup>,因为土壤交换性 $Al^{3+}$ 的提高需要一个土壤前期酸化过程(如土壤pH一般要降至5以下)和积累过程(即茶树根系的生物富集过程)。

## 2.2 茶树根层土壤碳、氮水平和可溶性酚总量的变化

土壤有机碳测定结果(表1)表明,树龄40和90年茶树根层土壤的有机碳含量达到10年树龄茶树根层土壤的3倍左右,差异达到极显著。树龄40年和90年茶树根层土壤的有机碳含量差异很小,并且90年老茶树根层土壤含量要略低于40年树龄的茶树根层土壤,这可能是由于90年的茶树已进入衰老期,根系分泌物量减少。黄祖法和温琼英在调查茶树根表面微生物时作出了相似的推论<sup>[8]</sup>。土壤全氮和有机碳有相同的趋势,树龄40和90年茶树根层土壤全氮含量(TN)为2.25  $g\ kg^{-1}$ 和2.13  $g\ kg^{-1}$ ,约为10年树龄新茶树根层土壤(1.15  $g\ kg^{-1}$ )的一倍。由于茶树是密集栽培的,根系分泌物十分丰富并且枯枝落叶中含有较难降解的多酚类、木质素等成分,使得土壤中有有机碳有积累的现象。土壤可溶性酚总量(表1)以40年和90年树龄茶树根层较10年树龄茶树高,并且达到显著差异。有报道表明茶的嫩叶和老叶分别含多酚达到茶叶干重的24.39%和12.00%,并且参与土壤腐殖质的形成<sup>[9]</sup>。

从碳氮比可以看出,10年新茶树由于茶树在成长期吸氮能力很强,使根层土壤全氮含量并不是很高,土壤有机物质积累不多,其碳氮比最低。同时可以发现,土壤C/N比与茶树树龄、土壤微生物量碳和土壤可溶性酚总量呈显著或极显著正相关(表3),表明茶树根层土壤随种植年限的增长土壤逐渐酸化,使土壤中微生物的生存和繁衍受到影响;茶树枯枝落叶和根系分泌的多酚类物质在根层土壤中积累,使土壤有机碳积累,土壤碳氮比提高,又影响了土壤微生物区系。

回归分析表明,茶树根层土壤有机碳、可溶性酚总量和全氮以及碳氮比都与pH值分别呈显著相关,并且也都与茶树树龄显著相关,同时土壤有机碳、可溶性酚总量和全氮三者极显著相关。这些结果表明茶树对根层土壤具酸化作用,土壤有机碳(尤其是难分解的多酚类和木质素等物质)和全氮的积累不仅与茶树丰富的枯枝落叶和根系分泌物有关,而且与土壤酸化、微生物活性变化及其参与的土壤物质循环和转化过程有关。

## 2.3 茶树根层土壤微生物区系

### 2.3.1 细菌

表2结果表明,不同树龄茶树的根层土壤细菌的分布有明显的不同,其数量依次为:10年树龄茶树>90年树龄茶树>40年树龄茶树。树龄10年茶树根层细菌数量与树龄40年茶树相差显著,但树龄40和90年茶树间的根层细菌数量差异不显著,90年树龄茶树略大于40年树龄的茶树。

根层土壤芽孢杆菌数量以40年树龄茶树最多( $16.9 \times 10^5\ cfu\ g^{-1}$ 干土),树龄10年茶树( $6.43 \times 10^5\ cfu\ g^{-1}$ 干土)与90年老茶树根层土壤相近( $7.50 \times 10^5\ cfu\ g^{-1}$ 干土),并且40年茶树根层土壤的芽孢杆菌数量与10年新茶树和90年老茶树根层土壤间差异显著。这与黄祖法和温琼英<sup>[8]</sup>的根际土壤芽孢杆菌数随树龄增长而增加的趋势有所不同,其内在机制有待进一步研究。

表2 茶树根层微生物区系组成

Table 2 Microflora in the root layer of tea plants

茶 树 Plant	10 年茶树 10yrs old tea plants	40 年茶树 40yrs old tea plants	90 年茶树 90yrs old tea plants
细菌(EB) ( $\times 10^6$ cfu $g^{-1}$ 干土)	42.3 $\pm$ 21.3 ns <sup>1)</sup>	20.9 $\pm$ 7.70 ns	23.9 $\pm$ 4.63 ns
真菌(FU) ( $\times 10^6$ cfu $g^{-1}$ 干土)	4.36 $\pm$ 1.21 ns	2.61 $\pm$ 0.57 ns	4.39 $\pm$ 2.03 ns
放线菌(AC) ( $\times 10^5$ cfu $g^{-1}$ 干土)	7.23 $\pm$ 2.16 a	3.89 $\pm$ 3.43 ab	2.54 $\pm$ 1.30 b
可培养的微生物总量(TCFU) ( $\times 10^7$ cfu $g^{-1}$ 干土)	4.35 $\pm$ 2.14 a	2.15 $\pm$ 0.80 b	2.46 $\pm$ 0.49 b
芽孢杆菌(BA) ( $\times 10^5$ cfu $g^{-1}$ 干土)	6.43 $\pm$ 1.39 ns	16.9 $\pm$ 3.37 ns	7.50 $\pm$ 8.58 ns
芽孢杆菌占富营养细菌的百分比(%)	1.5	8.1	3.1

1) 大写字母表示经 LSD 多重比较后在  $p < 0.01$  水平显著, 小写字母为  $p < 0.05$  水平显著, ns 为不显著

不同树龄茶树根层土壤中可能存在着某种抑制作用, 即树龄 10 年茶树根层细菌数量明显大于 40 和 90 年树龄的茶树根层(近 1 倍), 可能是茶树长期定植引起根层微生态改变而造成的。首先是茶园土壤酸化, 其次是不同树龄茶树根系活性和根系分泌物数量变化, 还有铝毒和茶树富含多酚和木质素的枯枝落叶的降解产物也可能有部分影响。根层芽孢杆菌数量的增加可能是根层土壤微生态环境恶化的一个“信号”, 尤其当蜡质芽孢杆菌等数量增加时<sup>[19]</sup>。树龄 40 年茶树根层芽孢杆菌占富营养细菌的 8.1%, 而树龄 10 年茶树根层仅 1.5%, 表明根层微生态中存在着某些不利因子。Pandey 和 Palmi<sup>[7]</sup> 对根际、非根际细菌、真菌和放线菌的分析结果表明幼茶树能够刺激土壤微生物的生长, 但是他们的毒性试验则表明茶树根际土壤水提取物对根际土壤中筛选到的 5 株优势菌株有明显的抑制生长作用, 因此认为茶树到一定树龄后根系能分泌出一些抗菌物质, 抑制微生物的代谢过程。因为根际土壤水提取物中可能包含了茶树根系分泌物、因土壤酸化而引起大量的活性 Al、Fe、Cu、Zn 和 Mn 等金属离子和茶树多酚枯枝落叶的不完全降解产物(酚类化合物、生物碱和黄酮类物质)等<sup>[18]</sup>, 当这些物质在茶树根际积累到一定浓度时不但会对土壤微生物产生抑制效应, 而且会对老茶园复垦的新茶苗产生毒害<sup>[18]</sup>。Krishnapillai<sup>[20]</sup> 的研究表明, 茶厂的废茶可以明显抑制或延缓土壤硝化作用。

**2.3.2 真菌和放线菌** 根层土壤真菌以 90 年树龄老茶树最多, 10 年树龄新茶树次之, 树龄 40 年茶树最少。放线菌则随树龄延长而数量减少, 树龄 10 年新茶树与其它树龄茶树差异显著。经回归校验, 茶树根层土壤放线菌数量与树龄呈显著相关(表 3)。这一趋势与黄祖法和温琼英<sup>[8]</sup> 的测定结果有所不同, 在他们的测定中放线菌数量与茶树树龄无关。

#### 2.4 茶树根层土壤微生物生物量碳、氮

树龄 10 年茶树根层微生物生物量碳极显著地小于树龄 40 和 90 年茶树根层, 树龄 40 年茶树根层土壤微生物生物量碳略小于 90 年树龄的茶树(表 4)。相关分析表明根层土壤微生物生物量碳随树龄增长而显著增加, 并且与土壤 pH 值显著负相关(表 3)。不同树龄的茶树根层土壤微生物生物量碳与土壤细菌、真菌、放线菌和芽孢杆菌以及可培养微生物总量间无显著的线性相关(表 3)。这表明土壤微生物生物量测定和平板分离微生物计数测定之间存在着可培养和不可培养微生物数量上的差异, 土壤微生物生物量碳反映了所有可被氯仿熏蒸分解的土壤微生物, 包括不可培养的微生物; 而可在常规培养基上生长的微生物仅为 1%~5% 以下。由此可以推论, 在富铝、低 pH 和含有抑制土壤可培养微生物生长物质(茶树根系分泌物、富含多酚和木质素的枝叶凋落物等)的茶树根层土壤中可能有大量的但不能被常规培养基培养的, 并且对不利因子有耐性的微生物群系的存在。

茚三酮反应氮(Ninhydrin-N)常作为土壤微生物生物量氮的重要指标之一。测定结果(表 4)表明, 各树龄土壤根层茚三酮反应氮占土壤总氮量小于 1%, 10 年和 90 年树龄茶树的所占比例相当, 40 年树龄茶树的最高。微生物生物量的碳氮比表明, 随着茶树树龄的增长, 微生物生物量碳氮比增大, 从 17.7 增加至 38.0, 40 年树龄茶树和 10 年树龄的茶树相当。

表 3 不同树龄茶树根层土壤生态学因子间的相关分析  
Table 3 Correlation coefficients ( $r$ ) among soil-ecological factors in the root layer of tea plants with different ages

Age <sup>1)</sup>	pH	EA	EH	TA	EB	FU	AC	TCFU	BA	OC	TN	C/N	SP	BC
pH	-0.959***													
EA	0.859**	-0.782*												
EH	-0.815**	0.743*	-0.956***											
TA	0.654	-0.592	0.744*	-0.514										
EB	-0.457	0.537	-0.145	0.009	-0.401									
FU	0.093	-0.020	0.240	-0.416	-0.246	0.536								
AC	-0.697*	0.624	-0.583	0.419	-0.747*	0.636	0.214							
TCFU	-0.461	0.539	-0.150	0.012	-0.410	0.999***	0.541	0.645						
BA	-0.036	0.017	-0.195	0.438	0.424	-0.322	-0.666*	-0.155	-0.326					
OC	0.718*	-0.740*	0.347	-0.215	0.522	-0.636	-0.356	-0.690*	-0.641	0.475				
TN	0.712*	-0.725*	0.356	-0.211	0.559	-0.623	-0.321	-0.723*	-0.628	0.489	0.995***			
C/N	0.739*	-0.771*	0.373	-0.261	0.496	-0.636	-0.381	-0.649	-0.641	0.435	0.987***	0.967**		
SP	0.830**	-0.819**	0.533	-0.400	0.645	-0.656	-0.354	-0.770*	-0.663	0.373	0.941***	0.936***	0.930***	
BC	0.766*	-0.749*	0.477	-0.330	0.641	-0.524	-0.349	-0.601	-0.530	0.562	0.937***	0.926***	0.941***	0.921***
NIN	0.091	-0.009	-0.025	0.202	0.386	-0.068	-0.408	-0.506	-0.080	0.570	0.554	0.589	0.485	0.488

1) Age: 树龄; pH: 土壤 pH; EA: 交换性 Al<sup>3+</sup>; EH: 交换性 H<sup>+</sup>; TA: 交换性酸总量; EB: 细菌; BA: 芽孢杆菌; FU: 真菌; AC: 放线菌; TCFU: 可培养的微生物总量; OC: 土壤有机碳; TN: 土壤全氮; C/N: 土壤碳氮比; SP: 可溶性酚总量; BC: 土壤微生物量碳; NIN: 硝三酮反应氮

\* 为显著线性相关 ( $p < 0.05$ ), \*\* 为极显著线性相关 ( $p < 0.01$ ), \*\*\* 为极显著线性相关 ( $p < 0.001$ )

茶树根层土壤微生物生物量碳与根层土壤的有机碳、可溶性酚总量、全氮和碳氮比达到极显著相关。在不同树龄的茶树根层土壤中,土壤微生物生物量碳占土壤有机碳百分含量也随树龄增长逐渐增加,从0.91%提高到1.11%。以上结果说明长期种茶引起了土壤生态环境的变化,从而导致微生物数量和组成的变迁。

表4 茶树根层土壤微生物生物量碳和氮含量

Table 4 Soil microbial biomass carbon and ninhydrin-N in the root layer of tea plants

茶树 Plant	微生物生物量碳 Microbial biomass C (BC) (C mg kg <sup>-1</sup> )	茚三酮反应态氮 Ninhydrin-N (Nin-N) (N mg kg <sup>-1</sup> )	BC/Nin-N	BC/OC <sup>1)</sup> (%)	Nin-N/TN (%)
10年茶树	57.22 ± 18.88 bB <sup>2)</sup>	3.24 ± 5.21 ns	17.66	0.91	0.27
40年茶树	189.4 ± 34.53 aA	10.11 ± 2.72 ns	18.73	0.98	0.45
90年茶树	197.33 ± 31.06 aA	5.18 ± 2.98 ns	38.03	1.11	0.24

1) OC: 土壤有机碳, TN: 土壤全氮

2) 大写字母表示经 LSD 多重比较后在  $p < 0.01$  水平显著, 小写字母为  $p < 0.05$  水平显著, ns 为不显著

致谢 十分感谢浙江大学陆景岗教授和中国农业科学院茶叶研究所的吴洵研究员、陈亮博士和石元值等同志在采样过程中提供的大力支持和帮助。

#### 参考文献

- Pansombat K, Karazawa S, Horiguchi T. Microbial ecology in tea soils I. Soil properties and microbial populations. Soil Sci. Plant Nutr., 1997, 43(2): 317~ 327
- Johuson D B. Diversity of microbial life in highly acidic and mesophilic environment. In: Berthelin J. ed. Diversity of Environmental Biogeochemistry. Amsterdam: Elsevier, 1991. 225~ 238
- Khan M R, Williams S T. Studies on the ecology of actinomycetes in soil III. Distribution and characteristics of acidophilic actinomycetes. Soil Biol. Biochem., 1975, 7: 354~ 348
- Nish T, Osada M, Nish I. Characteristics of microflora in the decayed *Picea jezoensis* wood litter. Bull. Jpn. Soc. Microbial Ecol., 1992, 7: 31~ 37
- Song M L, Liu Y L. Effect of biogeochemical cycle in tea garden on the soil acidification. J. Tea Sci., 1990, 10(2): 19~ 26
- Nish I, Isobe T, Osada M. Microbial biomass and some biochemical characteristics of a strongly acid tea field soil. Soil Sci. Plant Nutr., 1993, 39(4): 617~ 626
- Pandey A, Palni L M S. The rhizosphere effect of tea on soil microbes in a Himalayan monsoonal location. Biol. Fertil. Soils, 1996, 21: 131~ 137
- 黄祖法, 温凉英. 茶树根表微生物的初步调查. 中国茶叶, 1982, 6: 9~ 11
- Sivapalan K. Humification of polyphenol-rich plant residues. Soil Biol. Biochem., 1982, 14: 309~ 310
- Sparling G P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: Pankhurst C E, Doube B M, Gupta V V S R. eds. Biological Indicators of Soil Health. CAB International, 1997. 97~ 119
- 俞慎, 李勇, 王俊华, 等. 土壤微生物生物量作为土壤质量生物指标的探讨. 土壤学报, 1999, 36(3): 413~ 422
- 刘光崧, 蒋能慧, 张连弟等主编. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996. 123~ 125, 166~ 167, 171~ 174
- Box J D. Investigation of the Folin-Ciocalteu phenol reagent for the determination of polyphenolic substances in natural waters. Water Research, 1983, 17(5): 511~ 525
- 中国科学院南京土壤研究所微生物室编著. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985. 40~ 57
- Wu J, Joergensen R G, Panmerening B, et al. Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction an automatic

procedure. *Soil Biol. Biochem.*, 1990, 22: 1 167~ 1 169

16. Schinner F, Öhlinger R, Kandeler E, *et al.* *Methods in Soil Biology*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1995. 60~ 62
17. 郭荣发, 刘腾辉. 南方茶源土壤活性铝、锰和 pH 研究. *土壤通报*, 1997, 28(1): 39~ 40
18. 许宁. 茶园生态系中化学生态学的研究现状与展望. *中国茶叶*, 1998, 20(4): 30~ 31
19. 中国科学院南京土壤研究所编. *中国土壤*. 北京: 科学出版社, 1978. 417~ 437
20. Krishnapillai S. Inhibition of nitrification by waste tea ('tea fluff'). *Plant and Soil*, 1979, 51: 563~ 569

## SOIL CHEMICAL CHARACTERISTICS AND THEIR IMPACTS ON SOIL MICROFLORA IN THE ROOT LAYER OF TEA PLANTS WITH DIFFERENT CULTIVATING AGES

Yu Shen He Zhen-li Chen Guo-chao Huang Chang-yong

(*Department of Resource Science, College of Environmental and Resource Sciences, Hujiachi  
Campus, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China*)

### Summary

This study investigated population distribution and community structure of microorganisms and related ecological factors in the root layer of 10-, 40- and 90-year old tea plants, respectively. The populations of soil eutrophic bacteria, fungi, actinomycetes and *Bacillus* were measured by the plate-count method. Soil acidity, organic carbon, total nitrogen and total soluble phenol of the soil increased with the age of tea plants. Populations of microbes in the tea root layer varied with the age of tea plants. Eutrophic bacteria and actinomycetes and total microbes appeared as larger colony-forming-unit in the root layer of 10-year old tea plant, as compared with those of 40- and 90-year old tea plants, which were close each other. The size of fungi in the root layer of 10- and 90-year old tea plants was similar but larger than those in the root layer of 40-year old tea plants. The quantity of *Bacillus*, in the root layer of 40-year old tea plants was greater than those in the 10- or 90-year old tea plant root layer, with the latter having similar values. Soil microbial biomass carbon in the tea plant root layer increased significantly with the age of tea plants. Simultaneously, a significant correlation was not observed between microbial biomass carbon and total colony-forming microorganisms measured by the plate-counting method. Each of the soil properties including organic carbon, total soluble phenol, total nitrogen and pH, had a significant or very significant correlation with microbial biomass carbon.

**Key words** Microflora, Microbial biomass carbon, Ninhydrin-N, Tea plant root layer, Red soil