

川西 3 种茶园土壤的酸度和酸碱缓冲能力 及石灰需要量比较

袁大刚¹, 陈旋¹, 孙健¹, 杨大东^{1,2}, 王昌全¹, 蒲光兰¹

(1.四川农业大学资源环境学院, 四川 成都 611130; 2.重庆市大足区规划局, 重庆 大足 402360)

摘 要:以川西名山县处于同一地形序列上的漂洗水稻土、黄壤和酸性紫色土 3 种主要茶园土壤 0~20 cm 土层为研究对象,于春、夏、秋 3 个季节采样,对土壤 pH、交换性酸含量、水解性酸含量、酸碱缓冲能力及石灰需要量等进行分析。结果表明:① 3 种茶园土壤 pH 均低于 4.5,不适于无公害茶叶生产。交换性酸均以交换性铝为主,交换性铝含量和交换性酸含量均以漂洗水稻土的最低。水解性总酸度表现为酸性紫色土显著高于漂洗水稻土,酸性紫色土和漂洗水稻土的水解性总酸度与黄壤的差异均无统计学意义。漂洗水稻土以非交换性酸为主,黄壤和酸性紫色土以交换性酸为主。② 3 种茶园土壤交换性氢含量、交换性铝含量、交换性酸含量和水解性总酸度等指标由于地形条件、气候特征、茶树生物学特性和人类活动等影响而总体上呈夏季低于春(秋)季的趋势变化。③ 3 种茶园土壤的酸碱缓冲曲线均呈“S”型,但土壤缓冲容量有差异,表现为酸性紫色土、黄壤、漂洗水稻土的缓冲能力依次减小。④ 3 种茶园土壤必须进行改良,但用不同方法计算出的石灰需要量有较大差异,建议将氯化钙交换-氢氧化钙滴定法得出的石灰需要量结合田间试验进行校正;若调节至同一 pH,漂洗水稻土的石灰需要量相对较少。

关 键 词:茶园土壤;酸度;酸碱缓冲能力;石灰需要量;四川;名山县

中图分类号: S156.99

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2014)04-0409-07

Comparative study on acidity, buffer capacity and lime requirement among three types of tea garden soils in western Sichuan

YUAN Da-gang¹, CHEN Xuan¹, SUN Jian¹, YANG Da-dong^{1,2}, WANG Chang-quan¹, PU Guang-lan¹

(1.College of Resources and Environment, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2.Dazu Urban Planning Bureau, Dazu, Chongqing 402360, China)

Abstract: Soil acidity is an important environmental element for non-polluted tea production. Soil samples, within 20 cm of surfaces in bleached paddy soil, yellow earth and acid purple soil at the same toposequence in Mingshan county of west Sichuan, were collected in spring, summer and autumn, and soil pH, exchangeable acidity, hydrolytic acidity, pH buffer capacity and lime requirement were further measured. The results showed that: ① pH values of 3 types of tea garden soils were lower than 4.5. Among of them, that of yellow earth was the lowest with the mean value 3.79, and the maximum value 4.19. Hence, the soils were not conducive to non-polluted tea production, and must be improved. Among of 3 types of tea garden soils, exchangeable H^+ content was the highest in yellow earth, exchangeable Al^{3+} content and exchangeable acidity (include H^+ and Al^{3+}) was the lowest in bleached paddy soil. However, the exchangeable acidity was mainly composed of exchangeable Al^{3+} for every soil. For hydrolytic acidity, acid purple soil was significantly higher than that of bleached paddy soil, but there was no significant difference in hydrolytic acidity between yellow earth and acid purple soil or bleached paddy soil. The hydrolytic acidity in bleached paddy soil was mainly composed of non-exchangeable acidity, but that of yellow earth and acid purple soil were mainly composed of exchangeable acidity. ② the exchangeable H^+ and Al^{3+} , exchangeable acidity and hydrolytic acidity were lower in summer than that in spring or autumn respectively, which were driven by climate and biology factors. ③ the soil pH

buffer curves of 3 types of tea garden soils were all presented in "S" shape, but there were differences in soil buffer capacity among the 3 types of tea garden soils. The soil buffer capacity of acid purple soil, yellow earth and bleached paddy soil decreased successively. ④ the lime requirement in acid soil must be determined using calcium chloride exchange- calcium hydroxide titration firstly, and then adjusted by field experiments. Meanwhile, it should not be more than the lime requirement determined by hydrolytic acidity. Among 3 types of tea garden soils, the bleached paddy soil was the lowest in lime requirement if soil pH was adjusted to the same value.

Key words: tea garden soil; soil acidity; soil pH buffer capacity; lime requirement; Sichuan; Mingshan county

无公害茶园土壤的适宜 pH 为 4.0~6.5^[1]。自然成土过程和茶树根系释放质子^[2-3]、分泌有机酸^[4]以及茶园土壤富集铝^[5-6]、人类施用铵态氮^[7-10]、酸雨^[11]等均会导致茶园土壤酸化,部分土壤的 pH 已降至 4.0 以下^[10-15],必须进行酸度调控。施用石灰是酸度调控的重要措施之一。石灰需要量主要是根据土壤交换性酸(包括交换性氢离子和交换性铝离子)含量确定的,水解性总酸度(包括活性酸和交换性氢、铝离子及可水解酸三部分)也可作为确定石灰需要量的重要参考依据。确定石灰需要量最简便的方法是氯化钙交换-氢氧化钙滴定法^[16]。土壤的酸碱缓冲能力是加入酸性或碱性物质时土壤阻止 pH 变化的能力^[17]。反映土壤酸碱缓冲能力强弱的指标是缓冲容量,即土壤溶液改变 1 单位 pH 所需的酸或碱量,可通过滴定曲线(缓冲曲线)获得^[18]。了解土壤的酸碱缓冲能力可为土壤酸度调控提供重要信息。四川是全国茶叶主产区。据农业部种植业管理司统计,2012 年,四川茶园面积达 25.05×10⁴ hm²,仅次于云南、贵州和湖北,位居全国第 4 位。部分四川茶园由长期种植水稻的水田(土壤类型为漂洗水稻土)改造而成。袁大刚等^[15]研究川西茶园土壤 pH 特征后,发现茶园土壤酸化严重,需要进行改良。漆玉邦等^[19]比较了用水解酸法和缓冲曲线法确定西南红黄壤石灰需要量的差异;张天彬等^[20]比较了用单缓冲法、双缓冲法、滴定法和培养试验法确定四川改良小麦-红薯轮作旱地黄壤和酸性紫色土壤石灰需要量的优劣。目前,关于同一地形序列漂洗水稻土、黄壤和酸性紫色土茶园土壤的交换性酸度和水解性酸度的季节变化均少见报道;关于漂洗水稻土的酸碱缓冲曲线、石灰需要量研究也少见报道。笔者研究川西 3 种茶园土壤的酸度、酸碱缓冲能力及石灰需要量,以期酸性茶园土壤的改良提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于四川盆地西部的名山县,地处亚热带湿润季风气候区,四季分明,气候温和,年均气温为 15.4℃,无霜期为 296 d;雨量充沛,年降水量达 1 500 mm,且 6—9 月较集中,占全年的 72.6%;年均日照时间仅 953 h;地带性植被为亚热带常绿阔叶林;地貌为海拔 680~780 m 的台状丘陵;土壤类型为分布于阶地面上的由第四系老冲积物在长期漂洗过程和水耕熟化作用下发育而成的漂洗水稻土。采样时土壤改种茶树仅 7 年,土体中仍保留有水耕淀积层或水耕氧化还原层,农民习惯称其为“白鳝泥田”(《四川土壤》中漂洗水稻土亚类下的一个土种),而不是称其为“白鳝泥土”(漂洗黄壤亚类下的一个土种)茶园土壤由“漂洗水稻土”、阶坡上部较平缓处由第四系老冲积物发育而成的黄壤和阶坡中下部陡峭处由白垩系夹夹组砂页岩残-坡积物发育的酸性紫色土组成(图 1)。

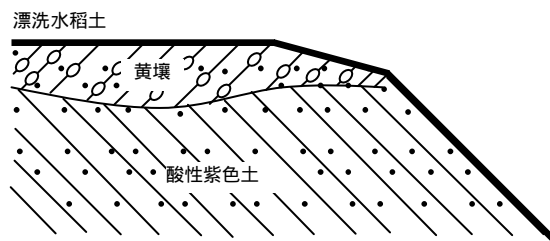


图 1 3 种茶园土壤分布示意图

Fig. 1 Sketch map of three types of tea garden soils

1.2 研究方法

1.2.1 土壤样品采集

2009 年 3 月至 2009 年 10 月,分别于春(3 月上旬)、夏(7 月中旬)、秋(10 月下旬)3 个茶叶采摘季节采集茶龄一致的漂洗水稻土、黄壤和酸性紫色土 3 种茶园土壤样品。于每种土壤中选择空间不同的 3 个茶龄一致的茶园作为采样地,采样深度为 0~20

cm 的土层，每次按“S”路线采 5 个样点混合作为一个样品，3 种土壤 3 个季节共采集土样 27 个。将采集的土壤样品风干后研磨过尼龙筛，孔径分别为 2.000、0.250、0.149 mm。供试土壤基本理化性质见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of the tested soils					
土壤类型	容重/(g·cm ⁻³)	总有机碳含量/(g·kg ⁻¹)	全氮含量/(g·kg ⁻¹)	有效磷含量/(mg·kg ⁻¹)	速效钾含量/(mg·kg ⁻¹)
漂洗水稻土	1.26	24.05	1.23	23.7	79
黄壤	1.30	12.34	0.97	10.2	64
酸性紫色土	1.22	12.99	1.06	23.2	119

1.2.2 测定指标及方法

土壤 pH 用电位法测定^[16]；交换性酸含量用氯化钾浸提-中和法测定^[16]；水解性总酸度用醋酸钠(pH 8.3)浸提-中和法测定^[16]；土壤酸碱缓冲曲线的绘制参照文献[21]；土壤容重采用环刀法测定^[16]；石灰需要量的实验室测定采用 0.2 mol/L 氯化钙交换-氢氧化钙滴定法^[16]。中和交换性酸或水解性酸的石灰需要量=土壤面积×厚度×容重×交换性酸含量(或水解性总酸度)。

1.2.3 数据处理

描述性统计分析用 Excel 2003 进行 相关分析、方差分析与多重比较用 DPS 7.05 进行。

2 结果与分析

2.1 3 种茶园土壤的酸度特征

2.1.1 土壤酸度的总体特征

从表 2 可见：3 种茶园土壤的 pH 为 3.46~4.95，其中黄壤的 pH 最大值仅 4.19，而漂洗水稻土和酸性紫色土的 pH 最大值均介于土壤改良 pH 要求值 4.5~5.5；3 种茶园土壤 pH 均表现出较低的变异程度，以黄壤的变异系数最小。3 种茶园土壤的 pH

平均值均低于 4.5，多重比较结果表明，黄壤的 pH (3.79)显著低于漂洗水稻土的(4.23)和酸性紫色土的(4.45)；漂洗水稻土的 pH 低于酸性紫色土的，但二者的差异无统计学意义。

表 2 3 种茶园土壤 pH 的描述性统计结果

Table 2 Descriptive statistics of pH for 3 types of tea garden soils					
土壤类型	pH				变异系数/%
	最小值	最大值	平均值	标准差	
漂洗水稻土	3.79	4.95	4.23a	0.41	9.64
黄壤	3.46	4.19	3.79b	0.23	6.20
酸性紫色土	3.91	4.91	4.45a	0.36	8.06

由表 3 可以看出，3 种茶园土壤的交换性酸均以交换性铝为主，交换性氢所占比例较小。3 种茶园土壤交换性氢含量为 0.25~1.45 cmol/kg，其中黄壤的标准差较大，变异系数较小；交换性氢含量的平均值以黄壤的最高，显著高于酸性紫色土和漂洗水稻土的；酸性紫色土的略高于漂洗水稻土的，但二者的差异无统计学意义。3 种茶园土壤的交换性铝含量为 1.31~9.83 cmol/kg，交换性酸含量为 1.63~10.82 cmol/kg，均以黄壤的变异系数最小；交换性铝含量和交换性酸含量的平均值均以漂洗水稻土的最低，显著低于黄壤和酸性紫色土的；黄壤的高于酸性紫色土的，但二者的差异无统计学意义。

表 3 3 种茶园土壤交换性氢、交换性铝、交换性酸含量的描述性统计结果

Table 3 Descriptive statistics of exchangeable H ⁺ , Al ³⁺ and exchangeable acidity for 3 types of tea garden soils						
指标	土壤类型	含量/(cmol·kg ⁻¹)			标准差/(cmol·kg ⁻¹)	变异系数/%
		最小值	最大值	平均值		
交换性氢含量	漂洗水稻土	0.25	0.81	0.49b	0.20	41.83
	黄壤	0.50	1.45	0.80a	0.29	36.18
	酸性紫色土	0.25	0.79	0.50b	0.20	39.31
交换性铝含量	漂洗水稻土	1.31	4.81	3.15b	1.30	41.40
	黄壤	5.96	9.36	6.99a	1.38	19.68
	酸性紫色土	2.36	9.83	6.28a	2.78	44.28
交换性酸含量	漂洗水稻土	1.63	5.54	3.63b	1.45	39.89
	黄壤	6.56	10.82	7.78a	1.54	19.74
	酸性紫色土	2.65	10.48	6.79a	2.86	42.13

水解性总酸度代表微酸性和酸性土壤的总酸度。从表 4 可知,3 种茶园土壤的水解性总酸度为 3.15~13.59 cmol/kg,变异系数以酸性紫色土的最小,平均值以酸性紫色土的最高,显著高于漂洗水稻土的,但与黄壤的差异无统计学意义;黄壤的高

于漂洗水稻土的,其差异也无统计学意义。值得注意的是,在水解性总酸度中,黄壤和酸性紫色土的以交换性酸为主,而漂洗水稻土的以非交换性酸为主,这可能与有机质含量(表 1)较高有关。

表 4 3 种茶园土壤水解性总酸度的描述性统计结果

土壤类型	水解性总酸度/(cmol·kg ⁻¹)			标准差/(cmol·kg ⁻¹)	变异系数/%
	最小值	最大值	平均值		
漂洗水稻土	5.14	12.80	7.90b	2.42	30.63
黄壤	3.15	13.59	9.69ab	3.00	30.96
酸性紫色土	7.21	13.45	10.66a	2.08	19.52

相关分析结果(表 5)表明,3 种土壤的交换性酸含量和交换性铝含量均与 pH 呈显著或极显著负相关关系,酸性紫色土的交换性氢含量和水解性总酸度也与 pH 呈显著或极显著负相关关系;漂洗水稻土的交换性氢含量与交换性铝含量、交换性酸含量和水解性总酸度均呈显著正相关关系,3 种土壤的

交换性铝含量均与交换性酸含量呈极显著正相关关系,酸性紫色土的交换性铝含量和交换性酸含量均与水解性总酸度呈极显著正相关关系。这进一步表明,土壤交换性酸以交换性铝为主。交换性铝水解是土壤表现为酸性的重要原因^[17]。

表 5 3 种茶园土壤酸度指标的相关系数

Table 5 Correlation between different acidity index for 3 types of tea garden soils						
土壤类型	指标	pH	交换性氢含量	交换性铝含量	交换性酸含量	水解性总酸度
漂洗水稻土	pH	1				
	交换性氢含量	-0.59	1			
	交换性铝含量	-0.92**	0.69*	1		
	交换性酸含量	-0.91**	0.76*	0.99**	1	
	水解性总酸度	-0.44	0.75*	0.46	0.52	1
黄壤	pH	1				
	交换性氢含量	-0.34	1			
	交换性铝含量	-0.75*	0.48	1		
	交换性酸含量	-0.74*	0.62	0.99**	1	
	水解性总酸度	0.26	0.39	-0.19	-0.10	1
酸性紫色土	pH	1				
	交换性氢含量	-0.74*	1			
	交换性铝含量	-0.83**	0.36	1		
	交换性酸含量	-0.86**	0.42	1.00**	1	
	水解性总酸度	-0.89**	0.49	0.91**	0.92**	1

“*” 示显著相关($P<0.05$);“**” 示极显著相关($P<0.01$)。

2.1.2 土壤酸度的季节变化特征

由表 6 可知,对于土壤 pH,漂洗水稻土表现出春季、夏季、秋季依次减小的趋势,黄壤表现出夏季、春季、秋季依次减小的趋势,酸性紫色土表现出夏季、秋季、春季依次减小的趋势,但 3 种土壤 pH 各季节间的差异均无统计学意义。

表 6 3 种茶园土壤在春、夏、秋季的 pH

季节	pH		
	漂洗水稻土	黄壤	酸性紫色土
春	4.36	3.78	4.33
夏	4.20	3.86	4.62
秋	4.14	3.72	4.40

由表 7 可知,对于交换性氢含量,漂洗水稻土和黄壤均表现出春季、夏季、秋季依次减小的趋势,但漂洗水稻土各季节间的差异均无统计学意义,而黄壤春季显著大于秋季,夏季与春、秋季的差异均无统计学意义;酸性紫色土表现出春季最高、夏季最低的趋势,但各季节间的差异均无统计学意义。

对于交换性铝含量和交换性酸含量,漂洗水稻土均表现为秋季最高、春季最小;酸性紫色土均表

现为秋季最高、夏季最小;黄壤在交换性铝含量上表现为春季最高、夏季最小,交换性酸含量表现为春季、夏季、秋季依次减小。对于水解性总酸度,漂洗水稻土和黄壤均表现为春季最高、夏季最小,但漂洗水稻土各季节间的差异无统计学意义,而黄壤的春季显著大于夏季,秋季与春、夏季间的差异均无统计学意义;酸性紫色土表现为秋季最高、夏季最小,但各季节间的差异无统计学意义。

表 7 3 种茶园土壤在春、夏、秋季的酸度

Table 7 Seasonal dynamic of acidity for 3 types of tea garden soils												cmol/kg
季节	交换性氢含量			交换性铝含量			交换性酸含量			水解性总酸度		
	漂洗水稻土	黄壤	酸性紫色土	漂洗水稻土	黄壤	酸性紫色土	漂洗水稻土	黄壤	酸性紫色土	漂洗水稻土	黄壤	酸性紫色土
春	0.58	1.06a	0.68	2.83	7.32	6.36	3.41	8.38	7.04	8.85	12.08a	10.65
夏	0.49	0.73ab	0.38	3.24	6.75	5.56	3.73	7.49	5.94	7.24	7.18b	9.87
秋	0.39	0.59b	0.45	3.38	6.89	6.93	3.76	7.48	7.38	7.59	9.82ab	11.46

2.2 3 种茶园土壤的酸碱缓冲能力

土壤缓冲曲线反映土壤缓冲能力的变化趋势,缓冲曲线越平缓,说明土壤 pH 越不易受加入的酸碱影响而改变,土壤缓冲能力越强;缓冲曲线越陡,标明土壤的缓冲能力越弱。由图 2(横坐标正值代表 NaOH 加入量,负值代表 HCl 加入量)可知,3 种茶园土壤的酸碱缓冲曲线均呈“S”形。

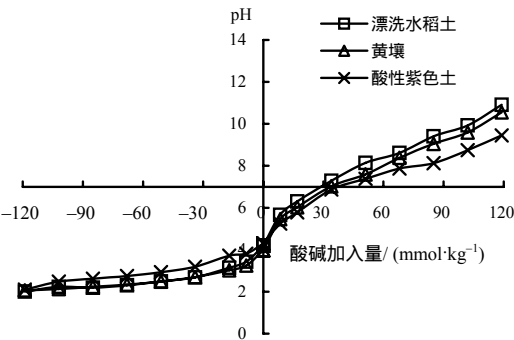


图 2 3 种茶园土壤的酸碱缓冲曲线
Fig.2 pH buffer curves of the 3 types of tea garden soils

黄壤、漂洗水稻土、酸性紫色土的初始 pH 分别为 3.97、4.19、4.30,加酸后,3 种茶园土壤的 pH 均开始下降,在下降至 pH 3 以后,随加入的酸量增加,改变较小,最终 3 种土壤的曲线趋于重合(图 2),表明加入相同的酸量使酸性紫色土的 pH 下降最多,黄壤最少,即从初始 pH 到 pH 重合,土壤酸缓冲容量表现为黄壤、漂洗水稻土、酸性紫色土依次减小,亦即表现为黄壤、漂洗水稻土、酸性紫色土的土壤酸缓冲能力依次减小;在加入相同量的碱后,始终是漂洗水稻土的 pH 最高,酸性紫色

土的 pH 最低,表明从初始 pH 到测定过程中的任一 pH 范围内,土壤碱缓冲容量为酸性紫色土的最大,即土壤的碱缓冲能力最强。对初始点到加碱滴定结束时的数据进行相关分析,结果表明,3 种茶园土壤的 pH 与加碱量均呈极显著正相关关系,可以拟合 3 种茶园土壤碱加入量(x)与 pH(y)的如下回归方程。

漂洗水稻土： $y=0.050x+5.13$ ， $R^2=0.951$ 。

黄壤： $y=0.049x+4.88$ ， $R^2=0.961$ 。

酸性紫色土： $y=0.039x+4.99$ ， $R^2=0.959$ 。

由方程的斜率可知,酸性紫色土、黄壤、漂洗水稻土的缓冲能力依次减小。

2.3 3 种茶园土壤的石灰需要量

由表 2 可见,名山县茶园土壤 pH 均在 5.5 以下,有的低于 4.0。由于土壤 pH 为 4.0~6.5 时,茶树能正常生长,尤其是土壤 pH 为 4.5~5.5 时茶树的生长最好^[12]。土壤 pH 低于 4.0 时,宜施石灰等将其调节至 4.5~5.5^[22],所以,名山县茶园土壤 pH 可以施石灰进行调节。

2.3.1 用滴定法确定的石灰需要量

由表 8 可见,3 种土壤的石灰需要量均随着 pH 调整值的增大而增加;调整至同一 pH 时,漂洗水稻土的石灰需要量最少,显著低于黄壤和酸性紫色土;黄壤的石灰需要量最大,但其与酸性紫色土的差异无统计学意义。

表 8 3 种茶园土壤表层(0~20 cm)的石灰需要量

Table 8 Comparison of lime requirements among three types of tea garden soils from 0 to 20 cm								kg/hm ²
土壤类型	pH 5.5 石灰需要量		pH6.5 石灰需要量		pH7.0 石灰需要量		石灰需要量	
	滴定法 ^a 计算量	根据缓冲 曲线计算量	滴定法 ^a 计算量	根据缓冲 曲线计算量	滴定法 ^a 计算量	根据缓冲 曲线计算量	根据交换性 含量计算量	根据水解性 总酸度计算量
漂洗水稻土	2 448b	671	3 635b	2 067	4 357b	2 765	2 564b	5 571
黄壤	4 538a	1 002	6 047a	2 389	6 986a	3 083	5 666a	7 057
酸性紫色土	3 750a	1 030	5 352a	2 699	6 645a	3 533	4 637a	7 285

2.3.2 依据交换性酸含量或水解性总酸度计算的石灰需要量

由表 8 可见,中和交换性酸时,漂洗水稻土的石灰需要量最少,显著低于黄壤和酸性紫色土的;黄壤的石灰需要量最大,但与酸性紫色土的差异无统计学意义。中和水解性酸时,酸性紫色土的石灰需要量最大,漂洗水稻土的石灰需要量最少,但 3 种茶园土壤石灰需要量的差异无统计学意义。

2.3.3 根据缓冲曲线计算的石灰需要量

按拟合的回归方程分别进行计算,得到 3 种茶园土壤的石灰需要量(表 8)。结果表明,调至相同的 pH 时,石灰需要量表现为酸性紫色土、黄壤、漂洗水稻土依次减小。

3 结论与讨论

本研究结果表明:

a. 3 种茶园土壤的 pH 及其平均值均低于 4.5,黄壤的最低,不利于无公害茶叶生产。3 种茶园土壤的交换性酸含量以漂洗水稻土的最低,但均以交换性铝为主;黄壤的交换性氢含量最高,漂洗水稻土的交换性铝含量最低。水解性总酸度表现为酸性紫色土显著高于漂洗水稻土,而酸性紫色土和漂洗水稻土与黄壤的差异均无统计学意义;漂洗水稻土的以非交换性酸为主,而黄壤和酸性紫色土的以交换性酸为主。

b. 3 种茶园土壤交换性氢含量、交换性铝含量、交换性酸含量和水解性总酸度等指标均呈夏季低于春(或秋)季的变化趋势。

c. 3 种茶园土壤的酸碱缓冲曲线均呈“S”型,但土壤缓冲容量有差异,缓冲能力表现为酸性紫色土的最强,漂洗水稻土的最弱。

d. 3 种茶园土壤必须进行酸性改良,改良土壤酸性的依据不同,其石灰需要量会有较大差异,建

议用氯化钙交换-氢氧化钙滴定法初步确定石灰需要量,再结合田间试验进行校正。若调至同一 pH,漂洗水稻土的石灰需要量最少。

土壤酸度特征的影响因素。从土壤类型来看,3 种茶园土壤的 pH 最小值均低于 4.0,最大值均没有超过 5.5,黄壤最大 pH 甚至低于 4.5,属酸性(pH 4.5~5.5)甚至强酸性(pH < 4.5)土壤^[23];从 pH 平均值来看,3 种茶园土壤均低于 4.5,属强酸性土壤。因为茶树最适宜在酸性环境(pH 4.5~5.5)生长,所以,按照无公害茶叶生产技术规程^[21],必须对它们施石灰进行改良。土壤 pH 表现为黄壤、漂洗水稻土、酸性紫色土依次增大,而交换性氢含量、交换性铝含量和交换性酸含量均表现为黄壤、酸性紫色土、漂洗水稻土依次减小。黄壤处于地形陡峭阶坡的上部,其母质为第四系老冲积物,长期风化淋溶使其盐基不断淋失,导致其 pH 低,交换性氢、铝离子和交换性酸含量高;漂洗水稻土处于地形平坦的阶地面上,其母质为第四系老冲积物,长期的水旱轮作过程中,通过灌溉和施肥使盐基离子得到了补充,所以其 pH、交换性氢含量、交换性铝含量和交换性酸含量都比黄壤的低;酸性紫色土处于中下部位置,该区降水丰富,风化淋溶较强,盐基淋失较多,受上部黄壤酸性物质的影响,所以,尽管有母岩风化释放盐基的补充,但表层土壤交换性氢、铝离子和交换性酸含量也较高。从土壤酸度指标的动态变化来看,对于 pH,漂洗水稻土的是春季较高,黄壤和酸性紫色土均为夏季较高,这可能是夏季丰富的降水更容易导致阶坡上的表层土壤有更多的活性酸淋失。3 种土壤的交换性氢含量、交换性铝含量、交换性酸含量和水解性总酸度总体上均表现为夏季较春、秋季低,这可能也是因为夏季降水较丰富加重了淋溶的影响。夏茶的产量高且铝含量也较高^[24],茶叶收获时带走的铝多,导致交换性铝含量、交换性酸含量和水解性总酸度均较低。

酸性土壤改良的石灰需要量确定方法。本研究中不同石灰需要量确定方法间存在一定的异同：用氯化钙交换-氢氧化钙滴定法计算的石灰需要量与根据交换性酸计算的石灰需要量都表现为黄壤、酸性紫色土、漂洗水稻土依次减小，而根据缓冲曲线与根据水解性总酸度确定的石灰需要量都表现为酸性紫色土、黄壤、漂洗水稻土依次减小。几种方法均显示出漂洗水稻土的石灰需要量最低。氯化钙交换-氢氧化钙滴定法与缓冲曲线法调 pH 至 7.0 时，均未超过根据水解性总酸度计算的石灰需要量。值得注意的是，若将同一土壤调至相同的 pH，不同方法预测的石灰需要量在数值上有较大差异，如根据缓冲曲线法确定的石灰需要量明显低于氯化钙交换-氢氧化钙滴定法确定的石灰需要量。漆玉邦等^[19]和张天彬等^[20]的试验也存在不同方法确定的石灰需要量有较大差异的问题。茶叶无公害生产要求的土壤条件是 pH 4.0~6.5^[1]，土壤改良时要求将 pH 调节至 4.5~5.5^[22]，所以，不能根据水解性总酸度计算石灰需要量。根据交换性酸含量确定的石灰在施入茶园后是否使土壤 pH 超过 6.5 不容易确定。本研究中的缓冲曲线法由于采用氢氧化钠滴定，有使结果偏低的系统误差^[19]。氯化钙交换-氢氧化钙滴定法可以方便地确定目标 pH，因此，针对无公害茶叶生产，本研究中效果较好的方法是氯化钙交换-氢氧化钙滴定法。这与张天彬等^[20]提出的“滴定法具有很高的适宜性”观点一致。在实施土壤改良时，建议在理论分析的前提下，通过田间试验进一步加以确定。

参考文献：

- [1] NY 5020—2001 无公害食品：茶叶产地环境条件[S].
- [2] 万青，徐仁扣，黎星辉. 氮素形态对茶树根系释放质子的影响[J]. 土壤学报, 2013, 50(4): 84-89.
- [3] 方兴汉. pH 对茶树生理活动的影响[J]. 茶叶科学, 1987, 7(1): 15-22.
- [4] 王晓萍. 茶根分泌有机酸的分析研究初报[J]. 茶叶科学, 1994, 14(1): 17-22.
- [5] Song M L, Liu Y L. Effect of biogeochemical cycle in tea garden on the soil acidification[J]. Journal of Tea Science, 1990, 10(2): 19-26.
- [6] 丁瑞兴, 黄骁. 茶园-土壤系统铝和氟的生物地球化学循环及其对土壤酸化的影响[J]. 土壤学报, 1991, 28(3): 229-236.
- [7] Zoysa A K N, Loganathan P, Hedley M J. Effect of forms of nitrogen supply on mobilisation of phosphorus from a phosphate rock and acidification in the rhizosphere of tea[J]. Australian Journal of Soil Research, 1998 36(3): 373-388.
- [8] Ruan J Y, Zhang F S, Wong M H. Effect of nitrogen form and phosphorus source on the growth, nutrient uptake and rhizosphere soil property of *Camellia sinensis* L.[J]. Plant and Soil, 2000, 223(1/2): 65-73.
- [9] 阮建云, 马立锋, 石元值. 茶树根际土壤性质及氮肥的影响[J]. 茶叶科学, 2003, 23(2): 167-170.
- [10] 刘继尧. 高产稳产茶园土壤酸度及其演变的初步探讨[J]. 茶叶通讯, 1980, 7(3): 7-12.
- [11] 张倩, 宗良纲, 曹丹, 等. 江苏省典型茶园土壤酸化趋势及其制约因素研究[J]. 土壤, 2011, 43(5): 751-757.
- [12] 马立锋, 石元值, 阮建云. 苏、浙、皖茶区茶园土壤 pH 状况及近十年来的变化[J]. 土壤通报, 2000, 31(5): 205-207.
- [13] 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.
- [14] 黄运湘, 曾希柏, 张杨珠, 等. 湖南省丘岗茶园土壤的酸化特征及其对土壤肥力的影响[J]. 土壤通报, 2010, 41(3): 633-638.
- [15] Yuan D G, Yang D D, Pu G L, et al. Fertility dynamics of three types of tea garden soils in western Sichuan, China[J]. Pakistan Journal of Agriculture Science, 2013, 50(1): 29-35.
- [16] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 163-168.
- [17] 于天仁. 土壤化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 325-364.
- [18] 黄巧云. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 159-171.
- [19] 漆玉邦, 曾令军, 李叔南, 等. 西南红黄壤的缓冲特性及石灰施用量的确定[J]. 西南农业学报, 1996, 9(2): 123-127.
- [20] 张天彬, 涂仕华, 冯文强, 等. 四川酸性土壤石灰需求量方法的比较研究[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 63-65.
- [21] 姜军, 徐仁扣, 赵安珍. 用酸碱滴定法测定酸性红壤的 pH 缓冲容量[J]. 土壤通报, 2006, 37(6): 1247-1248.
- [22] NY/T 5018—2001 无公害食品：茶叶生产技术规程[S].
- [23] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1992: 87.
- [24] 廖万有. 茶生物圈中铝的生物学效应及其研究展望[J]. 福建茶叶, 1995(4): 13-17.

责任编辑: 王赛群

英文编辑: 王 库