

重庆市江津区紫色土壤基本性质对土壤硒含量的影响

赵婉彤¹, 童建川², 杨剑虹¹ (1. 西南大学, 重庆 400716; 2. 重庆市江津区农业委员会, 重庆 402260)

摘要 [目的]研究重庆市江津区紫色土壤基本性质对土壤硒含量的影响。[方法]以重庆市江津区农业土壤为研究对象,分析该地区土壤基本性质以及土壤中不同形态硒含量,探讨土壤基本性质对土壤总硒、水溶性硒、Olsen 硒含量的影响。[结果]紫色土壤中总硒、水溶性硒、Olsen 硒与土壤基本性质密切相关。总硒与水溶性硒呈极显著负相关,而与 Olsen 硒呈极显著正相关;土壤中硒含量与成土母质有一定的关系,但同时受外源因素影响;土壤 pH 与总硒、水溶性硒、Olsen 硒均存在极显著正相关,其中酸性土壤中硒含量相对较高;随着有机质含量的增加,土壤中总硒、水溶性硒含量逐渐增加,而 Olsen 硒含量逐渐降低。[结论]该研究为调节土壤中硒含量、改良植物硒营养以及防治、控制硒反应病提供理论依据。

关键词 紫色土;总硒;水溶性硒;Olsen 硒

中图分类号 S153.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)05-0092-04

Effects of Basic Properties of Purple Soil on Soil Selenium Content in Jiangjin District of Chongqing City

ZHAO Wan-tong¹, TONG Jian-chuan², YANG Jian-hong¹ (1. Southwest University, Chongqing 400716; 2. Chongqing Jiangjin Agriculture Commission, Chongqing 402260)

Abstract [Objective] To study effects of the basic conditions of the purple soil on soil selenium in Jiangjin district of Chongqing City. [Method] Using soil selenium in Jiangjin district in Chongqing agricultural soil as the main research object, soil basic properties in the region and different forms of selenium content in soil were analyzed, and effects of soil conditions on content of water soluble selenium, Olsen selenium in the soil were discussed. [Result] The total selenium, water soluble selenium, Olsen selenium in purple soil were closely related to the basic properties of the soil. Total selenium had extremely significant negative correlation with water-soluble selenium, and total selenium was significantly positively correlated with Olsen selenium; Selenium content in the soil had a certain relationship with the parent material, but was also affected by exogenous factors; Soil pH and total selenium, water soluble selenium, Olsen selenium showed extremely significant positive correlations, and in acidic soil selenium content was relatively large; With the increase of organic matter content, total selenium and water soluble selenium content increased gradually, while Olsen selenium content gradually reduced. [Conclusion] The study provides theoretical basis for adjusting the selenium content in soil, improving plant selenium nutrition and prevention and control of selenium reaction disease.

Key words Purple soil; Total selenium; Water-soluble selenium; Olsen selenium

土壤是生态环境的枢纽,土壤中硒的含量及形态对植物吸收硒的程度具有直接影响,而硒不足或者过量都会对植物及动物的生长、发育和繁殖产生影响,甚至威胁人类健康^[1-4]。硒作为一种微量元素存在于土壤中,其含量分布由诸多因素共同决定,包括土壤类型及其基本理化性质、地形地貌、气候条件、利用方式等^[5-6]。土壤 pH 会影响土壤中硒存在的形态,从而影响硒的有效性^[7];硒广泛存在于各类岩石中,不同岩石发育而来的土壤中硒的含量及分布相差很大;同一类型的土壤,由于利用方式不同,土壤中硒含量也不同。

我国位于世界缺硒国家和地区之列,就全国范围而言,我国低或缺硒土壤 (<0.05 mg/kg) 面积占国土面积的 72% 左右^[8]。童建川^[3]研究表明,重庆紫色土地区土壤全硒含量在 0.077~0.566 mg/kg,处于低硒偏中等水平。目前对紫色土有效硒的现状影响因素研究较少。同时,由于对紫色土中硒含量的测定方法不同,使得同一地区的结果不同。因此,选择适当的方法对重庆地区紫色土中有效硒的研究,可以调节土壤中硒含量、改良植物硒营养。笔者以重庆市江津区为例,通过对该地区土壤硒含量进行测定,分析土壤条件与硒之间的相关性。

1 材料与方法

1.1 样品采集 根据江津区硒资源普查结果,选取不同乡镇农业土壤 140 个样品:四面山镇 12,蔡家镇 50,德感街道

11,贾嗣镇 30,珞璜街道 12,石门镇 12,中山镇 13。耕作层土壤采用网格法布点采样,每个点取 5 个以上分样(梅花点法,50~100 mm)组合成一个土壤样,采样深度 0~20 cm。土壤样品经室内自然风干,剔除土壤的外侵人体(如动物残体、昆虫、砾石及塑料袋碎屑等),然后依次通过 2.00、1.00、0.25 mm 尼龙筛,混合装瓶备用。全过程注意分取样的均匀代表性,避免使用金属工具,防止污染。

1.2 测定方法 采用硫酸-硝酸湿灰化-原子荧光光度法测定土壤中总硒含量;水溶性硒、Olsen 硒分别以水、NaHCO₃ (pH 8.5) 为提取液,用原子荧光光度计测定;土壤理化性质测定方法见杨剑虹等^[9]的《土壤农化分析与环境监测》。其中土壤 pH 采用电位法测定;土壤有机质采用重铬酸钾容量法(K₂Cr₂O₇-H₂SO₄)测定。

2 结果与分析

2.1 土壤中不同形态硒之间的相关性分析 不同形态的硒对植物的可利用性各异,硒的有效性主要取决于土壤中硒的存在形态和溶解性^[10]。植物能有效吸收利用的硒主要包括有机硒、硒酸盐和亚硒酸盐。总硒只能作为土壤硒的一个容量指标,而不能反映土壤对硒的供应情况。该研究中,硒的形态主要包括总硒、水溶性硒、碳酸氢钠提取态硒(Olsen 硒)。在供试土壤中选取 140 个样品进行分析,总硒平均含量为 0.283 mg/kg,水溶性硒平均含量为 1.970 μg/kg, Olsen 硒平均含量为 17.800 μg/kg。Olsen 硒的含量远高于水溶性硒,说明碳酸氢钠对硒的提取能力高于水的提取能力。

由图 1、2 可知,总硒与水溶性硒呈极显著负相关, $y =$

$-2.6824x + 2.5577$ ($r=0.415^{**}$, $n=140$); 总硒与 Olsen 硒呈极显著正相关, $y=30.6550x + 9.1788$ ($r=0.61^{**}$, $n=140$)。随着总硒含量的增加, 水溶性硒逐渐减少, 而 Olsen 硒呈递增趋势。Olsen 硒与总硒的相关性远高于水溶性硒与总硒的相关性。此外, 水溶性硒与 Olsen 硒的相关性: $y=-1.7031x + 20.9250$ ($r=0.218^{**}$, $n=140$)。由此可知, 总硒、水溶性硒、Olsen 硒之间均呈极显著相关, 实际操作中, 可以通过分析其中 1 个指标, 而了解其他 2 种指标的含量。

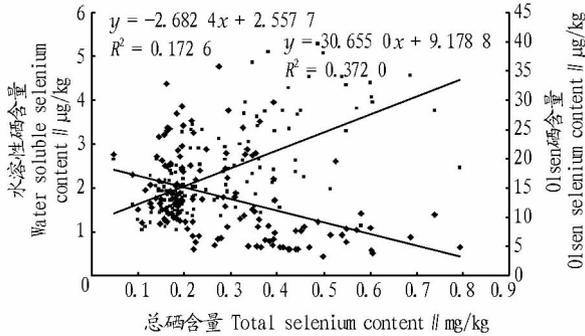


图 1 不同形态硒的相关性

Fig. 1 The correlation of different forms of selenium

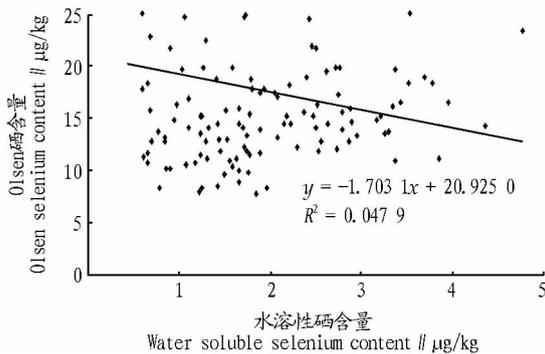


图 2 水溶性硒与 Olsen 硒的相关性

Fig. 2 The correlation between Olsen selenium and water soluble selenium

2.2 成土母质对土壤硒含量的影响 硒广泛存在于各类

岩石中, 其含量、分布与岩性密切相关^[7]。重庆地区紫色母岩为典型的沉积岩, 主要以中生代侏罗系地层出露最多, 其次是白垩系, 各时期的成土母质主要为夹关组、沙溪庙组、遂宁组、蓬莱镇组、自流井组等。紫色土是典型的初育土, 成土母岩间的差异会直接或间接地影响其发育土壤元素的含量、存在形态和分布规律等。由图 3 可知, 不同母质发育的土壤中, 总硒含量由高到低依次为自流井组、夹关组、沙溪庙组、蓬莱镇组、遂宁组。但遂宁组发育的土壤水溶性硒含量最高, 沙溪庙组最低。Olsen 硒在母质发育的土壤中含有与水溶性硒成相反关系, 沙溪庙组发育的土壤中 Olsen 硒含量最高, 遂宁组发育的土壤中 Olsen 硒含量最低, 这与总硒的变化相近。此外, 由于工业发展或者外源硒的加入, 同一母质不同土壤中硒的含量也相差很大。如同是自流井组发育而来的土壤, 工业区(珞璜、德感街道)的总硒平均含量为 0.685 mg/kg, 而非工业区(贾嗣、蔡家)的总硒平均含量为 0.239 mg/kg。

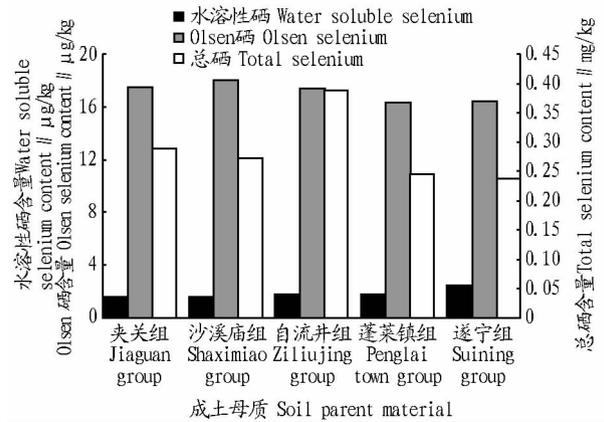


图 3 成土母质与硒含量的关系

Fig. 3 The correlation between selenium content and soil parent material

不同成土母质条件土壤中总硒、水溶性硒、Olsen 硒含量的变化见表 1。由表 1 可知, 5 种成土母质发育而来的土壤中总硒平均含量皆高于 0.200 mg/kg, 其中, 自流井组高达 0.388 mg/kg; 而水溶硒平均含量皆高于 1.60 μg/kg, 遂宁组

表 1 不同成土母质硒含量变化

Table 1 Changes of the selenium content in different kinds of soil parent material

成土母质 Soil parent material	样品个数 Sample number	总硒 Total selenium			水溶性硒 Water soluble selenium			Olsen 硒 Olsen selenium		
		含量 Content mg/kg	平均 Average mg/kg	变异系数 Variable coefficient %	含量 Content μg/kg	平均 Average μg/kg	变异系数 Variable coefficient %	含量 Content μg/kg	平均 Average μg/kg	变异系数 Variable coefficient %
夹关组 Jiaguan group	17	0.048 ~ 0.549	0.288	56	0.59 ~ 3.69	1.63	56	8.4 ~ 34.0	17.4	40
沙溪庙组 Shaximiao group	33	0.137 ~ 0.687	0.272	52	0.57 ~ 3.86	1.62	50	7.8 ~ 39.7	18.0	46
自流井组 Ziliujing group	15	0.088 ~ 1.213	0.388	75	0.59 ~ 3.96	1.82	50	7.9 ~ 28.3	17.4	39
蓬莱镇组 Penglai town group	42	0.099 ~ 0.441	0.246	37	0.60 ~ 4.77	1.86	57	8.3 ~ 36.4	16.3	38
遂宁组 Suining group	21	0.140 ~ 0.354	0.238	34	1.37 ~ 3.78	2.44	27	9.8 ~ 27.8	16.4	25

高达 2.44 μg/kg; Olsen 硒的平均含量皆高于 16.0 μg/kg, 沙溪庙组高达 18.0 μg/kg。在变异系数方面, 除遂宁组土壤总

硒与水溶性硒, 以及蓬莱镇组总硒外, 其他 4 种母质发育的土壤中总硒与水溶性硒的变异系数皆大于 50%, 而 Olsen 硒

的变异系数皆小于50%，遂宁组 Olsen 硒的变异系数为25%，变异系数越大，说明该土壤发育过程中，外界的影响较为明显。由此可知，土壤总硒含量与各成土母岩沉积顺序之间并不存在明显的相关性；土壤中硒含量与母质有一定的关系，但同时受外源因素影响；同一母质发育的土壤，工业区的总硒含量往往高于非工业区，此外，同一成土母质中不同形态硒的含量也不同。

2.3 pH 对土壤硒含量的影响 由表2可知，pH与总硒、水溶性硒、Olsen 硒均呈极显著相关，其中，pH与水溶性硒呈极显著正相关，而与总硒、Olsen 硒呈极显著负相关，此结果与

表2 不同提取态硒含量与 pH 的关系

Table 2 The correlation of different extraction forms of selenium content and soil pH

提取态硒 Selenium forms	拟合方程 Fitting equation	相关系数 Correlation coefficient (r)
总硒 Total selenium	$y = -0.061x + 0.6264$	0.337**
水溶性硒 Water soluble selenium	$y = 0.6040x - 1.5191$	0.585**
Olsen 硒 Olsen selenium	$y = -1.7240x + 27.309$	0.214**

注：*表示0.05水平相关；**表示0.01水平相关； $r_{0.05} = 0.168$, $r_{0.01} = 0.220$, $n = 140$

Note: * stand for correlation at 0.05 level, ** stand for correlation at 0.01 level, $r_{0.05} = 0.168$, $r_{0.01} = 0.220$, $n = 140$

表3 土壤亚类紫色土硒含量与 pH 的关系

Table 3 The correlation of soil pH and content of selenium in purple soil

提取态硒 Selenium forms	酸性土壤 Acidic soil (pH < 6.5)		中性土壤 Neutral soil (pH 6.5 ~ 7.5)	
	拟合方程 Fitting equation	相关系数(r) Correlation coefficient	拟合方程 Fitting equation	相关系数(r) Correlation coefficient
总硒 Total selenium	$y = -0.1049x + 0.8430$	0.356**	$y = 0.1146x - 0.5688$	0.473*
水溶性硒 Water soluble selenium	$y = 0.6320x - 1.6527$	0.455**	$y = 0.8053x - 2.9483$	0.259
Olsen 硒 Olsen selenium	$y = -0.1511x + 26.8760$	0.620**	$y = 4.8574x - 18.4000$	0.367

注：*为0.05水平相关，**为0.01水平相关； $r_{0.05} = 0.195$, $r_{0.01} = 0.254$, $n = 111$ ； $r_{0.05} = 0.374$, $r_{0.01} = 0.478$, $n = 26$

Note: * stand for correlation at 0.05 level, ** stand for correlation at 0.01 level; $r_{0.05} = 0.195$, $r_{0.01} = 0.254$, $n = 111$; $r_{0.05} = 0.374$, $r_{0.01} = 0.478$, $n = 26$

2.4 有机质对土壤硒含量的影响 由图4可知，有机质与总硒的含量呈正相关；二者的相关系数为 $r = 0.629^{**}$ ($r_{0.01} = 0.220$, $n = 140$)，达极显著相关。说明有机质吸附固定总硒的作用很强，随着土壤中有机质含量的增加，总硒含量也相应增加。

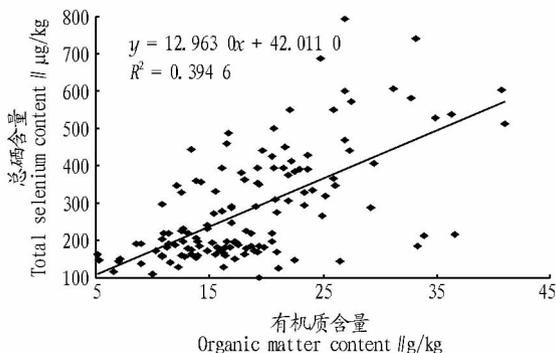


图4 土壤总硒与有机质的关系

Fig. 4 The correlation between total selenium and organic matter in soil

耿建梅^[11]对海南土壤分析得出的结果一致。随着pH的增加，水溶性硒含量显著增加，而土壤中总硒与Olsen 硒含量逐渐减少。由此可知，pH是调控土壤中硒含量方法之一。

江津地区农业土壤pH为3.7~8.0，酸、中、碱性土壤比例分别为74.44%、10.74%、14.82%，总体以酸性土壤为主，且酸化问题较为突出^[12]。该研究中，试验样品140个，其中酸性土壤111个，中性土壤26个，而遂宁组发育而来的土壤也呈酸性，表明江津地区土壤酸化严重。由表3可知，在酸性土壤中，pH与总硒、水溶性硒、Olsen 硒的相关性与表2变化一致。中性土壤中，pH仅与总硒呈显著正相关，而与水溶性硒、Olsen 硒均相关不显著，但与Olsen 硒相关性比水溶性硒的相关性好。此外，酸性土壤中总硒平均含量(0.304 mg/kg)高于中性土壤(0.230 mg/kg)，但酸性土壤的水溶性硒均值(1.59 μg/kg)和Olsen 硒均值(18.40 μg/kg)均低于中性土壤的水溶性硒均值(2.66 μg/kg)和Olsen 硒均值(15.40 μg/kg)，且不同形态硒平均含量的变异系数由大到小依次为酸性土壤、中性土壤。说明在酸性土壤中硒的含量相对较高，但其土壤间的差异性较大；中性土壤的总硒含量虽然低于酸性土壤，但各土壤间的含量变化较小。重庆地区酸性土壤地貌较为复杂，多为深丘窄谷，发育程度较深，因此地域差异较大；中性土壤分布较为集中，土壤属性相对较稳定。

由图5可知，随着有机质含量的增加，水溶性硒含量逐渐降低，而Olsen 态硒含量呈增加趋势。有机质与水溶性硒拟合方程为 $y = -0.0253x + 2.2933$ ($r = 0.224^{**}$, $n = 140$)，与Olsen 硒的拟合方程为 $y = 0.1767x + 14.3770$ ($r =$

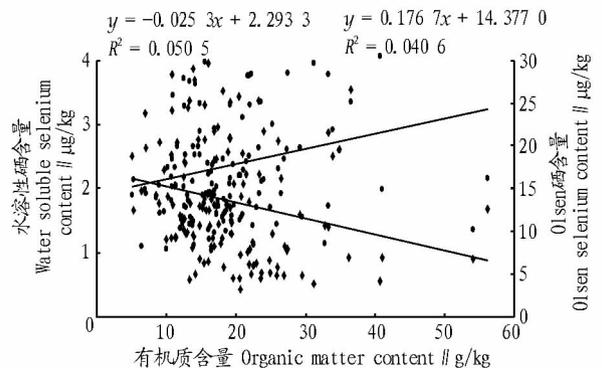


图5 土壤硒含量与有机质的关系

Fig. 5 The correlation between selenium content and organic matter in soil

0.285^{**}, $n = 140$), 均达极显著水平。供试土样的有机质平均含量为 19.5 g/kg, 总硒含量为 0.289 mg/kg。说明有机质对硒具有强烈的结合、吸附功能, 是土壤固定硒的重要因素之一。

3 结论与讨论

该研究以重庆市江津区作为研究对象, 在确立水溶性硒、Olsen 硒测定方法的基础上, 通过对江津地区 140 个土壤样品进行测定, 分析了该地区土壤中不同形态硒的含量, 了解土壤基本性质对土壤硒的影响。土壤总硒是土壤有效硒的基础和来源, 总硒与水溶性硒、Olsen 硒均存在明显的相关性; 土壤中水溶性硒的提取量较少, Olsen 硒含量是水溶性硒的十几倍。紫色土是典型的初育土, 成土母岩间的差异会直接或间接地影响其发育土壤元素的含量水平、存在形态和分布规律等; 土壤的基本理化性质有利于土壤硒的富集滞留, 同时也限制硒的淋溶解吸。

土壤 pH 在很大程度上决定了土壤硒的有效性^[10]。土壤 pH 是控制亚硒酸盐和硒酸盐之间转化的重要因素。亚硒酸盐一般存在于酸性和中性土壤中, 受黏粒矿物和铁氧化物固定, 常与铁形成溶解性极低的氧化物和水合氧化物而使其有效性大大降低^[13]; 而通风较好的碱性土壤中, 硒主要以硒酸态存在, 硒酸态溶解度大, 有效性高。此外, pH 对土壤硒的甲基化也有影响, 在一定范围内土壤硒的甲基化随 pH 的增加而增加, 而甲基化会使硒的移动性和从表土中溢出的可能性增加^[14]。该研究表明, pH 与总硒、水溶性硒、Olsen 硒都存在显著相关性, 随着 pH 的增加, 总硒与 Olsen 硒含量呈减少趋势, 而水溶性硒含量逐渐增加, 此种变化趋势在酸性土壤 (pH < 6.5) 尤为明显。

土壤有机质对土壤硒的影响较为复杂。一方面, 有机质通过降解作用释放出硒; 另一方面, 由于有机质-金属复合体提供的吸硒基团能够固定土壤中的硒, 致使高有机质

土壤中的有效硒小于低有机质土壤。有机质对硒的影响主要表现为固定^[14]。有机质的固硒能力, 主要是因为腐殖质含有带负电荷多聚物, 这些多聚物含有酚羟基和羧基, 与亚硒酸根竞争氧化物和黏粒矿物表面上的吸附点, 而可溶性腐殖质与金属离子形成带正电荷的螯合物, 可与亚硒酸根反应。有机质通过对硒的固定作用而影响土壤硒的有效性, 因此可通过调节土壤中有机质含量达到调节土壤中硒含量的目的。

参考文献

- [1] 常海波, 孙凤春, 楚玉彪. 微量元素硒与人体健康的研究[J]. 世界元素医学, 2006, 13(2): 22-23.
- [2] 刘铮. 中国土壤微量元素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996: 276-328.
- [3] 童建川. 重庆紫色土硒分布、迁移富集及影响因子研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
- [4] 赵中秋, 郑海雷, 张春光, 等. 土壤硒及其与植物硒营养的关系[J]. 生态学杂志, 2003, 22(1): 22-25.
- [5] 赵少华, 宇万太, 张璐, 等. 环境中硒的生物地球化学循环和营养调控及分异成因[J]. 生态学杂志, 2005, 24(10): 1197-1203.
- [6] 朱建明, 梁小兵, 凌宏文, 等. 环境中硒存在形式的研究现状[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22(1): 75-81.
- [7] CHEN Y W, LI L, D'ULIVO A, et al. Extraction and determination of elemental selenium in sediments: A comparative study[J]. Analytica chimica acta, 2006, 577(1): 126-133.
- [8] BISBJERG B. Studies on selenium in plants and soils[D]. Denmark: Riseo Danish Atomic Energy Commission, 1972: 1-150.
- [9] 杨剑虹, 王成林, 代享林. 土壤农化分析与环境监测[M]. 北京: 中国大地出版社, 2008.
- [10] 熊远福, 李辉勇, 刘军鸽, 等. 水稻土壤中硒的价态转化及溶解性研究[J]. 环境化学, 1999, 18(4): 338-343.
- [11] 耿建梅. 海南省稻田土壤硒的化学特征及水稻吸收累积硒的基因型差异与机理[D]. 海口: 海南大学, 2010.
- [12] 谢德体, 杨剑虹. 重庆农业土壤: 中卷[M]. 北京: 中国大地出版社, 2011.
- [13] RYDEN J C, SYERS J K, TILLMAN R W. Inorganic anion sorption and interactions with phosphate sorption by hydrous ferric oxide gel[J]. Soil science, 1987, 38(2): 211-217.
- [14] 李永华, 王五一. 硒的土壤环境化学研究进展[J]. 土壤通报, 2002, 33(3): 230-233.

(上接第 80 页)

电热丝加热热空气(主要为 O₂ 和 N₂)。正是木炭的这些优点, 可以形成炭焙茶茶汤口感、香气均具独特风韵的品质风格, 质量远优于电焙茶, 而且耐贮藏。

综上所述, 烘焙能有效改善品质, 而不同的烘焙方式会形成不同的品质风格, “茶为君, 火为臣”, 掌握好烘焙技术, 看茶焙茶, 发挥烘焙重要性, 使茶性充分表现, 是品质形成的技术关键。

参考文献

- [1] 游小妹, 陈常颂. 乌龙茶烘焙技术之我见[J]. 茶叶科学技术, 2007(4): 54-55.
- [2] 张燕忠, 张凌云, 王登良. 烘焙技术在乌龙茶精制中的应用研究现状与探讨[J]. 茶叶, 2008, 34(2): 75-77.
- [3] 曾国渊. 精制乌龙茶烘焙作用的原理与要求[J]. 福建茶叶, 2004(1):

- 33-34.
- [4] 成子龙, 庞月兰, 杨春. 不同烘焙方式对乌龙茶品质影响的研究进展[J]. 现代农业科技, 2013(1): 266.
- [5] 林永胜, 罗婵玉, 陈忠林, 等. 不同精制烘焙工艺对武夷岩茶品质的影响[J]. 福建茶叶, 2016, 38(4): 7-10.
- [6] 罗学平, 李丽霞, 赵先明, 等. 不同焙火处理对四川乌龙茶香味与化学品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(17): 104-108.
- [7] 江山, 宁井铭, 方世辉, 等. 焙火温度对条形乌龙茶品质的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2012, 39(2): 221-224.
- [8] 钟秋生, 林郑和, 陈常颂, 等. 烘焙温度对九龙袍品种乌龙茶生化品质的影响[J]. 茶叶科学, 2014(1): 9-20.
- [9] 温天海, 林坤彬, 何锦能. 白芽奇兰品种特性研究[J]. 福建茶叶, 1999(1): 19-22.
- [10] 中华人民共和国农业部. 茶叶感官审评方法: GB/T 23776-2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [11] 杨君, 李细荣. 基于炭焙-电烘焙技术的武夷岩茶烘焙机研究[J]. 宜春学院学报, 2011, 33(8): 70-71, 139.