

独创性声明

本人声明，所呈交的学位（毕业）论文，是在指导教师的指导下，通过我的努力取得的成果，并且是自己撰写的。尽我所知，除了文中作了标注和致谢中已作了答谢的地方外，论文中不包含其他人发表或撰写过的研究成果。与我一同对本研究做出贡献的同志，都在论文中作了明确的说明并表示了谢意，如被查有侵犯他人知识产权的行为，由本人承担应有的责任。

学位（毕业）论文作者亲笔签名: 陈勇军 日期: 2005.6.7

论文使用授权的说明

本人完全了解福建农林大学有关保留、使用学位（毕业）论文的规定，即学校有权送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

保密，在 年后解密可适用本授权书。
不保密，本论文属于不保密。

学位（毕业）论文作者亲笔签名: 陈勇军 日期: 2005.6.7
指导教师亲笔签名: 叶国华 日期: 2005.6.7

摘要

武夷岩茶历来有正岩、半岩、外山之分，在相同的品种、树龄、生产季节、采制技术条件下，不同产地茶叶品质差异悬殊。本文从栽培学角度，研究生态条件对茶叶品质的影响，同时进行土壤营养元素调控试验，从中找出生态条件中影响武夷岩茶品质的主要因子，研究表明：

1、水仙正岩、外山鲜叶品质主要生化成分均值差异，茶多酚、咖啡碱、可溶性总糖、儿茶素总量差异不明显；水浸出物差异显著；氨基酸、酚氨比差异极显著，氨基酸、酚氨比可作为提高水仙品质主要调控指标。肉桂主要生化成分不同产地规律不明显。岩茶品质不但与各生化成分总量有关，也与各成分之间的比例有关，不同品种主要调控指标不同。

2、正岩、外山土壤全氮、全磷、全锰、有机质含量均值差异不显著，交换性钙均值差异显著，全钾、全锌、交换性镁、pH 值差异极显著，不同产地土壤条件差别较大；鲜叶营养元素中，鲜叶全氮、全磷、全钾、全钙、全硼均值差异不显著，全锰、全锌、全镁均值差异极显著。

3、土壤化学环境—鲜叶营养元素—品质三者关系，在正岩鲜叶全锰含量与土壤全锌含量成显著正相关，鲜叶全钾含量与土壤全钾含量、鲜叶全氮含量与土壤交换性钙含量成显著负相关，生化成分氨基酸与鲜叶全氮、儿茶素总量与全硼成显著正相关，酚氨与比鲜叶全氮成显著负相关；在外山鲜叶全锌与土壤 pH 值成显著正相关，鲜叶全钙与土壤全钾成显著负相关，可溶性总糖与鲜叶全钾含量成显著负相关，茶多酚与全锰含量成显著正相关，其它均未达到显著水平。

不同产地相关系数的差异，鲜叶全氮与土壤中交换性钙、交换性镁，鲜叶全锌与 pH 值、可溶性总糖与鲜叶全氮相关系数差异显著，不能共用相同的相关系数，其它经重新计算后可共用相同的相关系数。

4、武夷岩茶鲜叶香气成分以醇类物质为主，不同品种鲜叶主要香气物质不同，水仙以乙醇含量最高，肉桂以橙花叔醇含量最高；在香气总量上，成正岩>半岩>外山趋势，不同品种香气总量相差较大，肉桂香气总量是水仙的 2 倍左右，种类更多；不同产地鲜叶香气成分中有相同的物质，也有独有的香气物质，且同一香气成分含量及比例不同，从而表现出不同

品种及不同产地各自的香气特征。

水仙土壤化学环境中香气成分橙花叔醇与全钾、乙醇与 pH 值成显著正相关，水扬酸甲酯、乙酸与有机质成显著负相关；鲜叶营养元素中，3-丁烯-2-酮-4(2, 6, 6-三甲基-1-环) 与全钙、顺式-芳樟醇氧化物、反-3, 7-二甲基-2, 6-辛二烯-1-醇与全镁成显著正相关，为提高茶叶香气总量，对土壤和鲜叶应采取不同的调控措施。

5、水仙土壤营养元素调控试验表明，不同的经济性状和主要生化成分，主要影响因素和最优处理不同，一些最优处理正好为正交试验组合，一些不在正交试验组合中。不同处理主要生化成分差异不显著，从鲜叶质量氨基酸、酚氨比角度而言，土壤营养元素调控试验施肥的种类和数量还有待进一步试验。

肉桂土壤营养元素调控不同施肥处理与对照相比，春茶茶多酚、氨基酸、酚氨比有大有小，水浸出物、儿茶素总量均小于对照，夏茶茶多酚、水浸出物、儿茶素总量均大于对照，氨基酸大于或等于对照，可溶性总糖不同施肥处理春夏茶均小于对照。不同处理各生化成分除夏茶氨基酸差异显著外，其它差异均不显著。

肉桂叶面营养元素调控不同施肥处理各主要生化成分与对照相比有大有小。不同处理茶多酚、水浸出物差异达极显著，氨基酸、酚氨比、儿茶素总量、可溶性总糖差异不显著。不同处理以喷 0.3% 硫酸锰最佳，相同肥料，叶面喷施锰肥以 0.3% 浓度，硼肥以 0.2% 浓度为佳。

最后本文根据研究所得结果，提出今后武夷岩茶生态条件调控的一些措施。

关键词：土壤条件；武夷岩茶；水仙；肉桂；田间试验

Abstract

Wuyi cliff tea is divided zhenyan tea,banyan tea and waishan tea. At the same condition of variety, age of tea, season and processing technology, difference of tea quality in places is very obvious. The study from angle of cultivation science that ecological condition affects quality of Wuyi cliff tea, and experiment of soil nutrients was conducted. Hope to find the factors what affect quality. Result showed:

One、On difference of average content of main biochemical compounds of quality of Shuixian in fields of Zhenyan、Waishan, the difference of polyphenols, caffeine, soluble carbohydrate, catechin is not obvious; the difference of water extracts is obvious, the difference of amino acid, polyphenols/amino acid is very obvious. The rule of difference of content of main biochemical compounds of Rougui is not obvious. Quality of Wuyi cliff tea is related to not only the content of main biochemical compounds but also ratio. The different breeds of tea have different targets of regulation.

Two、In average content of elements of chemical environment of soil in Zhenyan Waishan, the difference of whole N, whole P, whole Mn, organic matter is not obvious, the difference of applying Ca is obvious. The difference of whole K, whole Zn, applying Mg, pH number is very obvious. In average content of nutrients of fresh leaves in difference places, the difference of content of whole N, whole P, whole K, whole Ca, whole B is not obvious; the difference of whole Mn, whole Mg is very obvious..

Three、Correlation and difference among chemistry environment -content of nutrients of fresh leaves-main biochemical compounds, in zhenyan fields, between content of whole Mn in fresh leaves and content of

whole Zn in soil, their correlation is obvious positive; between content of whole K in fresh leaves and content of whole K in soil, content of whole N in fresh leaves and content of applying Ca in soil, their correlation are obvious negative; between the content of catechin in fresh leaves and content of whole B in soil, correlation is obvious positive; between polyphenols/amino acid and content of whole N in fresh leaves, correlation is obvious positive; others' correlation are not obvious. In waishan fields, between content of whole Zn in fresh leaves and pH number in soil, correlation is obvious positive; between content of whole Ca in fresh leaves and content of whole K in soil, correlation is obvious negative; between soluble carbohydrate and content of K in fresh leaves, correlation is obvious negative; between content of polyphenols and content of whole Mn, correlation is obvious positive, others' correlation are not obvious. On difference of correlation coefficient in different places, between whole N in fresh leaves and content of applying Ca in soil, between whole N in fresh leaves and content of applying Mg in soil, between content whole N in fresh leaves and pH number in soil, between content of soluble carbohydrate and content of whole N in fresh leaves, the difference of their' correlation coefficient are obvious, they don't use the same correlation coefficient, others can use the same correlation coefficient after calculating.

Four、The mellow matters are main aroma matter in Wuyi cliff tea fresh leaves. The different breeds of tea have different main aroma, content of Ethanol is the largest in fesh leaves of Shuixian,content of 1,6,10-dodecatrien-3-ol,3,7,11-trimethyl is the largest in fesh leaves of Rougui. Total of aromatic compounds has this tendency: zhenyan>banyan>waishan,the difference of breeds is obvious,quantity of Rougui is quantity of Shuixian

about 2. Because of unique aromatic compounds and different content and ratio of the same aroma, tea in different places has unique aroma pattern.

In chemical environment of soil, between content of 1,6,10-dodecatrien-3-ol,3,7,11-trimethyl and content of whole K in soil, between content of Ethanol and pH number, their correlation are obvious positive, between Methyl salicylate, Acetic acid and content of organic matter, their correlation are obvious negative; In nutrients of fresh leaves, between 3-Butene-2-one,4-[2,6,6-trimethyl-1-cycl and content of whole Ca, between Cis-Linalooloxide 2,6-Octadiene-1-ol,3,7-dimethyl(E) and content of whole Mg their correlation are obvious positive. Different measures will be carried to regulation of soil and fresh leaves to improve total of aroma.

Five、Experiment of different treatment of Shuixian soil nutrient elements showed that the best treatment of different economic characters and main biochemical compounds is different, some best treatment are just treatment of experiment, some aren't treatment of experiment. Refer to content of amino acid, polyphenols/amino acid, the experiment of soil nutrients regulation need to continue

On reguration experiment of Rougui soil nutrient elements, compared fertilizes treatment with CK, content of polyphenols, amino acid and polyphenols/amino acid have larger or smaller; content of water extracts and catechin is smaller in spring tea.; content of polyphenols, water extracts and catechin are larger, content of amino acid is larger or equal in summer tea., Contents of soluble carbohydrate is smaller in spring tea and summer tea. The difference of content of main biochemical compounds aren't obvious except content of amino acid of summer tea.

On regulation experiment of Rougui fresh leaves nutrient elements, compared fertilizers treatment with CK, content of main biochemical compounds are larger or smaller, the difference of content of polyphenols and water extracts is very obvious, the difference of content of amino acid, polyphenols/amino, catechin and soluble carbohydrate are't obvious. Treatment of 0.3% MnSO₄ is the best treatment in different experiment treatments, at the same of fertilizer, 0.3% MnSO₄ is better 0.6% MnSO₄, and 0.2% B is better 0.1% B.

According to results of study, the essay put forward measures which regulate ecological condition at last.

Key word: Soil condition; Wuyi cliff tea; Shuixian; Rougui;

Field experimentation

前 言

1、土壤条件对茶叶品质的影响

我国长期以来对茶园土壤的研究是比较深入的,除了早期对土壤的物理化学性质与茶树生育的关系研究以外,近年来宋木兰、李国满等在分析了江苏、湖南省具有代表性的茶园土壤后,明确指出土体构型对茶树根系的发展和分布有很大的影响,障碍层特别是亚表层紧实度不仅影响产量品质,甚至导致茶树死亡^[1]。田永辉等研究表明,土壤物理性状越好,则茶叶品质也越佳,物理性状与茶叶品质存在一定的相关性^[2]。

土壤化学性质方面,首先是土壤溶液 pH 值,茶树是喜酸植物,以前曾提出茶园土壤 pH 值适宜范围为 4.0—7.0 之间,最适 pH 值是 5.5, pH 低于 4 时应矫正,生产实践证明茶园土壤 pH 值在不断下降,呈向强酸性方向发展趋势,不少茶园已达 pH 值 3—4,而且在 4 时还会高产,对此研究后徐楚生认为,在土壤 pH 值为 3.5—6.0 时,土壤越酸越有利于茶树生育,土壤肥力也越高^[3]。茶园土壤有机质含量对土壤的物理化学性质产生极大的影响,高产优质茶园土壤要求有机质含量达 2.0%以上,日本茶园土壤改良指标是 3.0%以上^[3]。茶园土壤营养状况对茶叶品质的影响,顾干卿等^[4]研究表明,土壤有效磷的含量与茶叶氨基酸含量影响较大,在有效钾丰富的土壤,氮磷比与茶多酚呈显著负相关,土壤有效钾含量与茶叶咖啡碱呈显著正相关。李以暖等^[5]采用灰色关联法,对湖南省茶叶产区环境地质条件与茶叶品质的关系进行探讨,结果表明影响茶叶品质的生化物质和营养元素与茶区土壤及母质的性质有密切关系。王效举等^[6]对三峡地区土壤化学特征与茶叶品质关系的研究表明,砂质土有利于提高茶叶氨基酸含量,而粘质土则会使氨基酸降低,较高的盐基含量降低茶叶多酚类、咖啡碱和水浸出物含量,但有利于氨基酸的形成,速效磷与水浸出物成显著正相关,与咖啡碱成显著负相关,缓效钾与氨基成正相关。苏年华等^[7]对铁观音土壤营养元素研究认为,一般土壤有机质、三要素含量高的茶园,铁观音多数表现为高产,而对品质影响不明显,铁观音对土壤中锰的大量吸收及对铜、锌的奢侈吸收特性,是铁观音品种生理的需要,也是表征铁观音特殊品质有关指标所必需给予生化反应的必要元素的最佳组合。方玲等^[8]对不同母质的土壤对乌龙茶生化品质的影响研究,表明安溪茶园土壤

矿质元素质量分数与土壤母质关系较为密切,土壤有效性矿质元素与铁观音的生化品质存在着密切的相关。

纬度和海拔对茶叶品质的影响,一般而言低纬度地区,日照强度相对大,有利于碳代谢及多酚类物质积累,而在高纬度地区,日照强度相对减弱,则有利于氮代谢,故含氮物质如氨基酸、咖啡碱含量较高^[9]。海拔高度对茶叶品质的影响,国内外已有报道,黄寿波^[10]查明我国主要高山名茶分布在海拔400—1000米高度。赵和涛等^[11]人研究表明,海拔500米以上茶园的成茶品质审评8项因子得分与名次高于200米以下茶园。梁漱好充认为生长在山区的茶叶品质较好与较低日温和昼夜温差大有关。日本研究表明,海拔越高,地表温差越小,茶叶品质与早春期间夜间茶园地表温度关系密切,地表温度越低,头轮茶品质越好^[12]。陈春成^[13]研究表明,随海拔升高气温便随之下降,年平均气温随海拔上升100m而下降0.6℃;相对湿度明显提高,年平均相对湿度随海拔上升100m而提高3.65%;降水量受山坡对气流的抬升作用,海拔升高100m,降水量增加21.7mm;海拔上升,日照时数减少,积温下降,年平均积温随海拔上升100m下降的幅度为280℃。春梢萌芽期、茶叶采摘期等随海拔上升100m,均延迟2d。随海拔上升,茶叶质量提高。海拔对茶树品质影响实质上是一个气候因素的问题^[9]。

国内外研究均表明,芳香物质是构成茶叶香气的主要物质,茶叶中芳香物质的形成与茶树品种、加工工艺密切相关。茶园生态环境对茶叶芳香物质的影响,赵和涛等^[11]对红茶研究表明,不同生态环境所采摘的鲜叶,其芳香物质的先质存在一定的差异,且不同的生态环境各处理之间的芳香物质含量与组成存在较大差异。至于生态条件对乌龙茶鲜叶及不同树龄之间香气物质的差异尚未见报道。

2、鲜叶中营养元素对品质的影响

鲜叶中营养元素与乌龙茶品质的关系,福建省农科院茶叶研究所对武夷岩茶调查后认为,从茶叶的化学成分看,同一品种和长势,其茶叶品质随着铝和钙含量增加而下降,随着钾含量的增加而增高,在具有一定含量的氮、磷、钾肥的情况下,锰肥的协调也可能对茶叶品质带来好的影响^[14、15]。张文锦等^[16]研究表明,黄旦鲜叶氮磷钾含量与鲜叶及成茶主要生化成

分氨基酸、儿茶素、茶多酚和碳水化合物密切相关，其与乌龙茶感官品质的关系，可通过直线方程描述。李以暖等^[6]应用灰色关联分析方法得出，茶叶氮和磷对氨基酸含量影响较大，氮、钾、铜、锌对咖啡碱含量的影响明显，茶多酚则受茶叶的铜和镁的影响较为突出。茶叶中营养元素的含量受土壤和基岩的深刻影响。

3、土壤条件调控对品质的影响

3.1 有机肥与茶叶高产优质

有机肥是茶园中使用的传统肥料，有机肥能提高茶叶产量和品质，已为生产实践所验证。有机肥作为一种营养丰富，含有多种常量和微量元素的肥料，能满足茶树各方面生长发育的需要，加上有机肥培肥改土效果好，其对茶树产量品质的作用是任何化肥所不可比拟的。

据江苏宜兴县阳羡茶场茶园大面积使用有机肥的报道，在幼林茶园中连种三年绿肥，一年两季翻入土，成龄投产后，每亩施饼肥150—200公斤，加施磷肥25公斤，几年来茶叶连年增产，红碎茶上、中档茶五年平均递增率达到13.4%；另据日本鹿儿岛茶叶试验场的实验，施有机肥比施无机肥的茶树新梢纤维素减少，新梢的成熟与硬化推迟，芽叶持嫩性好，氨基酸含量显著增加；金维续等研究表明，施有机肥尤其是饼肥和厩肥，能显著提高茶多酚、儿茶素、咖啡碱、水浸出物等的含量^[17]。张春兰^[18]等将发酵干鸡粪颗粒与等量氮磷钾施用于茶园，鲜叶亩产比单施化肥增产18%—50%，茶叶水浸出物、氨基酸、碳水化合物均比单施化肥高出3%—13%。董尚胜等^[19]试验，以有机肥为基肥，可提高夏茶香气成分；一些茶树生物活性有机肥不仅提高产量，改善品质，还可增强茶树抗逆性能力；还有研究资料表明，注重茶园秋冬施有机肥能明显提高春茶产量和品质^[18]。

3.2 营养元素与茶叶品质

3.2.1 氮、磷、钾与茶叶品质

氮、磷、钾对茶叶品质的影响，据日本研究煎茶的各种成分和感官审评评分关系，发现全氮量、氨基酸总量随着茶叶的等级而逐渐递减；湖南省茶叶研究所的实验表明，增施氮肥显著提高茶叶中蛋白质和氨基酸的含量，以春茶为例，单施氮与不施肥相比蛋白质提高20.5%，氨基酸增加

1.12 倍。磷对茶树体内物质代谢有很大影响，对提高成品茶特别是红茶的品质有利，各地方的研究表明，凡是品质好的红茶，磷的含量也比较高；磷能提高茶树体内糖的含量，并促进茶叶的糖向茶多酚转化，提高氨基酸的含量，据苏联研究报道，施用磷肥茶叶的叶绿素和类胡萝卜素的含量提高，施磷还可以提高茶叶水浸出物的含量。磷对提高茶叶的品质作用，主要表现在香气和滋味两个方面，而对叶底的关系并不密切。施钾对茶叶品质的影响也比较明显。绿茶灰分中的钾含量与绿茶的级别呈正相关，乌龙茶施钾肥可使氨基酸和咖啡碱有所提高，钾、镁肥的配施可明显提高橙花叔醇的含量，而橙花叔醇为乌龙茶的主要香气成分；另据修水茶叶试验场和湖南茶叶研究所的研究报道，施钾能增加茶多酚和水浸出物的含量，也有研究表明，茶园喷施钾肥能提高茶叶中氨基酸和茶多酚含量^[21-23]。

3.2.2 微量元素与茶叶品质

微量元素如镁、锰、锌、钙、硼对品质的影响，主要有^[23-27]：

镁 苏联的研究表明，镁的增产效果在含镁 6~8mg/100g 土的茶园中为 8%~10%，在含镁只有 3~4 mg/100g 的茶园中可达 25%，当镁超过 15 mg/100g 时，镁肥就没有增产效果；另据国外的研究，镁肥的施用时期不同，增产效果相差很大，在茶树生长前期施镁肥只增产 10%，而后期施镁肥则可增产 42%，在茶叶的氨基酸组成中，茶氨酸所占比例高达 70%，而镁是茶氨酸形成过程中所必需的，镁在咖啡碱的形成过程中具有双重意义。一些研究表明缺镁的老茶园施用镁肥可显著地提高茶叶中儿茶素的含量，改善茶叶品质，钾镁配合施用，红茶、绿茶、乌龙茶的产量可以增加 10~20%，鲜叶中氨基酸、咖啡碱和茶多酚等内含物可提高。

锰 茶树体内的含量比一般植物高很多，因此茶树也被称为“聚锰植物”，茶树施用锰后，茶叶中的氨基酸有增加的趋势，特别是茶氨酸、天门冬氨酸含量分别比对照提高 41%—90% 和 12%—48%，有试验表明施用锰还能提高茶多酚的含量，比对照增加 35% 以上。

锌 锌对茶叶品质的影响，何电源等人研究表明，茶园土壤有效锌含量与茶叶氨基酸含量显著相关，施锌还能提高茶多酚含量，还有试验表明，施用硫酸锌后茶多酚含量比对照增加 35.5%。

钙 茶树作为酸性土壤的指示植物，其体内钙含量比较低，不要求土

壤中有较多的钙素。土壤钙含量过多，茶树生长不良，因此人们常把茶树称为“嫌钙作物”。近年来由于茶园长期施用化肥和雨水的淋溶作用，茶园中的活性钙含量日益减少，有可能出现缺钙的现象，据国外报道，在 pH3.8 以下的茶园，施用钙肥有明显增产效果。

硼 茶园土壤中的硼有效性较高，加之茶树对硼的需要较少，一般的生产茶园尚未发现缺硼现象生产中施硼不当，有时可能出现硼害，据报道，茶园喷施浓度为 0.1%、剂量为 50kg/亩的硼肥后使茶芽数量和百芽重有所提高，在密植茶园中应用，可取得较好的增产效果。

3.2.3 叶面肥与茶叶品质

茶树叶面肥具有利用率高，见效快，成本低，工效高，操作方便，不受茶园种植密度和种植方式的限制，以及能促进茶树根系的生长和吸收等诸多优点，因此深受茶农欢迎，在茶叶生产上广泛应用，是根部营养的重要补充。通过喷施叶面肥，可提早茶叶采摘，增加茶叶产量，提高茶叶品质，提高经济效益，如天源，春茶前喷 300 倍液，可提高鲜叶氨基酸含量和降低酚氨比，尤其是夏秋茶期间，喷施 300 倍液，鲜叶中的氨基酸含量提高 29%~63%，酚氨比下降 4.6—4.9^[28]。

3.2.4 稀土元素与茶叶品质

稀土元素对茶叶品质的影响，近十年来的大量研究表明，茶叶施用稀土微肥后，可提高茶树单位芽梢重，增强芽叶持嫩性，减少对夹叶；提高叶绿素含量，增加氨基酸含量，特别是春茶增加较多；增加茶多酚含量。稀土元素与尿素或钾肥配施有互作效果，更有利于茶多酚含量增多，且稀土与钾肥配施的增产幅度更大^[29-31]。

武夷岩茶为乌龙茶中之极品，久有大家闺秀之称，首重“岩韵”。其味甘泽而气馥郁，去绿茶之苦，乏红茶之涩，性和不寒，久藏不坏，香久益清，味久益醇，叶缘朱红，叶底软亮，具绿叶红镶边之称茶汤金黄或橙黄色，清澈艳明。其香气馥郁，具幽兰之胜，锐则浓长，清则幽远，滋味浓而醇厚，鲜滑回甘，有“味轻醍醐，香薄兰芷”之感，所谓“品具岩骨花香之胜”即此意境。自古以来人们对“岩韵”产生的原因进行不断的探索。

形成武夷岩茶优异品质的因素是多方面的，主要有适制乌龙茶的优良

品种、优越的生态条件、独特的栽培措施、精湛的采制工艺、树龄及生产季节等。武夷岩茶按惯例可分为正岩、半岩、洲茶三个不同类型，相同品种虽在相同采制工艺水平下，品质也往往差异悬殊。土壤条件对品质的影响，据福建省农科院茶叶研究所的调查，凡是正岩生长的土壤，含砾量高，质地以轻壤为主，土层较厚，土壤疏松，孔隙度在50%左右，土壤通风透气适中；从茶叶的化学成分看，同一品种和长势，其茶叶品质随着铝和钙含量增加而下降，随着钾含量的增加而增高，在具有一定含量的氮、磷、钾肥的情况下，锰肥的协调也可能对茶叶品质带来好的影响；姚月明以竹窠、企山、赤石分别代表正岩、半岩、洲茶三地茶园，对三地的土壤调查表明，三地茶园三要素含量相互比例相距甚大，竹窠茶园磷钾高而氮低，赤石茶园氮高而磷钾低，企山茶园则介于二者之间；三地以无性系水仙品种研究表明，鲜叶内含物存在差异而影响到内在的品质基础，进而通过加工影响到毛茶品质；甚至在同一块地不同地段同一茶树品种品质也差别甚大。同一品种不同树龄的茶树如水仙幼龄茶树其香气容易做出，但韵不明显，而20年以上的树龄茶树采制的茶不仅香气高，而且岩韵十分明显^[14-15、32-40]。

前人的研究表明，影响武夷岩茶“岩韵”的主要因素有品种、生态条件、栽培措施、采制技术及树龄等，但大多只进行定性描述，进行定量研究的较少。

长期以来尤其是近代人们对岩茶土壤对品质的影响进行了一系列的研究，但主要集中于土壤物理性状的调查。本研究主要从栽培学角度，研究生态条件对武夷岩茶品质的影响，对土壤的化学环境-茶树营养元素-茶叶品质生化因子三者之间的关系进行探讨，并进行营养元素调控试验，希望从中找出影响武夷岩茶品质形成的一些主要因素，提供生态条件调控技术，这对于进一步提高武夷岩茶的品质和经济效益将具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 品种 水仙、肉桂

1.1.2 鲜叶的采集与固样

本研究材料主要采集正岩、外山茶园的鲜叶，水仙正岩取牛栏坑、倒水坑、水帘洞、大坑口、流香涧茶园鲜叶样，外山取南源岭、黄土、枫坡、井水、巨口、黎源茶园鲜叶样；肉桂正岩取水帘洞、倒水坑、马头岩鲜叶，半岩取枫树湾鲜叶，外山取南源岭、黄土鲜叶样及武夷山市茶叶研究所不同产地五个鲜叶样。不同产地鲜叶取中开面二至三叶500克左右，每一产地鲜叶样由茶园三个不同的地方混合而成。水仙鲜叶进行热风固样，干燥箱预热至140℃时将鲜叶迅速送入干燥箱，此时箱温度降至130℃，5分钟，立即打开箱门降温，控制在80℃至烘干，取出摊凉；肉桂鲜叶进行微波固样，高火（750W）1分钟，取出摊凉，烘干。

土壤营养调控试验鲜叶处理同上。

1.1.3 不同产地土壤的采集

正岩取牛栏坑、倒水坑、水帘洞、大坑口、流香涧茶园土壤样，外山取南源岭、黄土、枫坡、井水、巨口、黎源茶园土壤样。每一产地茶园土壤样由0-40厘米深三个不同的点混合而成，取回室内自然风干。

1.1.4 土壤营养元素调控试验主要经济性状观测

1.1.4.1 发芽密度 在树冠上随机放置3个调查框，计算框内10厘米厚的可采芽叶数。

1.1.4.2 生长强度 在小区内随机抽取10个新梢，测量新梢第一叶至最后一叶长度，取平均值。

1.1.4.3 标准梢重 称取中开面二叶嫩梢25-50克计算其个数，重复3次，计算每个新梢重。

1.2 土壤营养调控技术

1.2.1 地点：水仙：武夷山市星村镇星村村马兰洲

肉桂：福建武夷星茶业有限公司九龙山茶场

1.2.2 试验设计

1.2.2.1 水仙：2003年1月对马兰洲茶茶园进行土壤营养调控试验，

试验设六因素二水平正交试验，试验各因子及水平如下表所示，各处理小区面积 15 平方米，重复二次，以期初步筛选出对茶树经济性状和茶叶品质有利的最佳组合^[21, 22, 41-44]。

水仙土壤营养调控正交试验表

| 列 号 | 因子 号 | 硫酸锰 | 硫酸镁 | 硫酸锌 | 硼砂 | 硫酸钾 | 菜子饼 |
|--------|------------|--------------|------------|-----------|------------|---------------|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 |
| 1 | 1 (200) | 1 (112.5) | 1 (75) | 1 (60) | 1 (312) | 1 (3375) | |
| 2 | 1 (200) | 1 (112.5) | 1 (75) | 2 (90) | 2 (624) | 2 (5062.5) | |
| 3 | 1 (200) | 2 (150) | 2 (100) | 1 (60) | 2 (624) | 2 (5062.5) | |
| 4 | 1 (200) | 2 (150) | 2 (100) | 2 (90) | 1 (312) | 1 (3375) | |
| 5 | 2 (300) | 1 (112.5) | 2 (100) | 1 (60) | 2 (624) | 2 (5062.5) | |
| 6 | 2 (300) | 1 (112.5) | 2 (100) | 2 (90) | 1 (312) | 1 (3375) | |
| 7 | 2 (300) | 2 (150) | 1 (75) | 1 (60) | 2 (624) | 1 (3375) | |
| 8 | 2 (300) | 2 (150) | 1 (75) | 2 (90) | 1 (312) | 2 (5062.5) | |

注：括号内为各肥料施肥量，单位：克

1.2.2.2 肉桂：在 2003 年水仙品种土壤营养元素调控试验的基础上，2004 年 4 月在福建武夷星茶业有限公司九龙山茶场进行肉桂土壤营养元素调控试验。试验设单因素随机试验，分根部施肥和叶面施肥两种。

(1) 根部施肥 小区面积 10 平方米

处理一：复合肥（做追肥）施用量 750g/10m²。

处理二：复合肥（用量同上，下同）+硫酸锰（140g/10m²）

处理三：复合肥+硼砂（6g/10m²）

处理四：复合肥+硫酸锰+硼砂

处理五：对照

小区布置：

| | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|
| 重复一 | 1 | 4 | 2 | 3 | 5 |
| 重复二 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 |
| 重复三 | 5 | 1 | 3 | 4 | 2 |

(2)叶面施肥:第一次喷施 2004 年 4 月 8 日, 第二次 2004 年 4 月 18

日

处理一：喷硫酸锰 0.3%。

处理二：喷硫酸锰 0.6%。

处理三：喷硼砂 0.1%。

处理四：喷硼砂 0.2%

处理五：对照喷清水

小区布置：

| | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|
| 重复一 | 1 | 4 | 2 | 5 | 3 |
| 重复二 | 3 | 5 | 1 | 2 | 4 |
| 重复三 | 2 | 5 | 3 | 1 | 4 |

1.3 方法

1.3.1 茶叶品质主要生化成分的测定

茶多酚 GB 8313-87

氨基酸 GB 8314-87

咖啡碱 GB 8312-87

水浸出物 GB 8305-87

可溶性总糖^[45]

儿茶素总量^[45]

1.3.2 茶叶芳香物质的测定

称取茶样 50 克置于 SDE 装置的 2000ml 烧瓶中, 加煮沸的蒸馏水 1000ml, 加入 0.5ml 100 μg/ml 癸酸乙酯(乙醚为溶剂)作为内标, 同时用 50ml 重蒸乙醚萃取。电热加热套加热, 保持微沸 20 分钟, 乙醚萃取液中加入无水硫酸钠过夜, 过滤并浓缩至 50ml 左右, 提取的香精油供 GC-MS 分析用。

GC-MS 型号 GC5890 联 MSD5972。

色谱柱：50m×0.2mm id PEG-20M 石英毛细管柱；分流进样；进样口温度 200℃；GC-MS 接口温度 25℃；程序升温：柱温 50–200℃，4℃/min，200℃保持 5min，每次进样 1μl；EI 离子能，电离能 70eV；使用全扫描；载气为 99.999% 氮气。

联机检索查对工作站中的标准图谱，与标样比较，并参考相关茶叶香气文献定性。以内标峰面积为 1，样品峰与之相比而相对定量。

1.3.3 土壤、鲜叶营养元素的测定方法

1.3.3.1 土壤营养因素测定内容：pH、有机质、N、P、K、Mn、Zn、交换性 Ca、交换性 Mg、可溶性 B。

1.3.3.2 鲜叶营养元素测定内容：N、P、K、Mn、Zn、Ca、Mg、B 全量。

1.3.3.3 营养元素测定方法^[46, 47]：

N 开氏法

P 钼兰比色法

K 火焰光度法

Mn、Zn、Ca、Mg 原子吸收分光光度法

B 姜黄素比色法

pH 酸度计法

有机质 重铬酸钾容量法

1.3.4 数据分析

首先对所得数据进行 t 测验^[48]，弃去可疑的极端值后逐个求出平均值，并对各项生化成分及营养元素含量进行变异系数的考察，以说明观测值的变异程度；对正岩与外山的茶叶生化成分和土壤条件采用平均值成组比较法，进行均值的 t 检验^[49, 50]。

t-测验拒绝域： $t = | \text{极端值} - \text{平均值} | / (\text{最大值} - \text{最小值}) > t_i$

t_i 为查表所得的临界值（当处理数为 6 时， $t_i=0.76$ ）

2 结果与分析

2.1 正岩、外山鲜叶品质差异

武夷岩茶传统有正岩、半岩、洲茶(外山)之分,不同产地相同品种在相同的加工条件下品质差异极大。对正岩、外山水仙品种按相同标准进行取样,并对12个鲜叶样本茶叶品质主要生化因子进行测定,对所得数据首先进行t测验,弃去可疑的极端值后逐个求出平均值。结果如表1、表2所示。

从表1可知,正岩水仙鲜叶各生化成分中,茶多酚含量在23.8%~26.6%之间,变异系数为0.041,平均值含量为25.3%;氨基酸含量在0.9%~1.6%之间,变异系数为0.21,平均值为1.2%;酚氨比在17.0~27之间,变异系数为0.18,平均值为22.3;咖啡碱含量在3.4%~4.6%之间,变异系数为0.11,平均值为3.8%;水浸出物含量在38.7%~44.3%之间,变异系数为0.048,平均值为41.9%、可溶性总糖含量在0.94%~1.22%之间,变异系数为0.099,平均值为1.07%;儿茶素总量在151.80~160.89mg/g之间,变异系数为0.024,平均值为156.48mg/g。在各生化成分之间,变异性度最大为氨基酸,最小为儿茶素总量。

表1 正岩茶园水仙鲜叶品质主要生化成分

Table 1 The content of main chemical compounds of fresh leaves
Of Shuixian in Zhenyan fields

| 生化成分 产地 | 茶多酚 | 氨基酸 | 酚氨比 | 咖啡碱 | 水浸出物 | 可溶性总糖 | 儿茶素总量 (mg/g) |
|------------|-------|------|------|------|-------|-------|-----------------|
| 倒水坑 | 23.8% | 1.2% | 20.0 | 3.5% | 41.7% | 1.13% | 152.35 |
| 牛栏坑 | 24.9% | 1.1% | 23.0 | 3.8% | 40.7% | 1.13% | 158.81 |
| 大坑口 | 26.6% | 1.0% | 27.0 | 4.6% | 43.7% | 1.01% | 155.59 |
| 大坑口入口处 | 25.3% | 1.6% | 17.0 | 3.6% | 44.3% | 0.99% | 160.89 |
| 流香洞 | 26.2% | 1.3% | 20.0 | 3.8% | 42.2% | 0.94% | 159.44 |
| 水帘洞 | 24.7% | 0.9% | 27.0 | 3.4% | 38.7% | 1.22% | 151.80 |
| 平均值 | 25.3% | 1.2% | 22.3 | 3.8% | 41.9% | 1.07% | 156.48 |
| 变异系数 | 0.041 | 0.21 | 0.18 | 0.11 | 0.048 | 0.099 | 0.024 |

从表2可知,外山水仙鲜叶各生化成分中,茶多酚含量在24.1%~27.2%之间,变异系数为0.056,平均值含量为25.8%;氨基酸含量在1.6%~

1.9%之间，变异系数为0.071，平均值为1.8%；酚氨比在13.0~16.0之间，变异系数为0.086，平均值为14.7；咖啡碱含量在3.3%~4.6%之间，变异系数为0.12，平均值为3.8%；水浸出物含量在43.1%~46.9%之间，变异系数为0.039，平均值为44.6%、可溶性总糖含量在1.02%~1.16%之间，变异系数为0.048，平均值为1.10%；儿茶素总量在137.03~164.83mg/g之间，变异系数为0.062，平均值为150.31mg/g。在各生化成分之间，变异度最大为咖啡碱，最小为水浸出物。

表2 外山茶园水仙鲜叶品质主要生化成分含量

Table 2 The content of main chemical compounds of fresh leaves
Of Shuixian in Waishan fields

| 产地 | 生化成分 | 茶多酚 | 氨基酸 | 酚氨比 | 咖啡碱 | 水浸出物 | 可溶性总糖 | 儿茶素总量 (mg/g) |
|-----|-------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-----------------|
| 井水 | 24.1% | 1.9% | 13.0 | 3.3% | 43.4% | 1.13% | 137.03 | |
| 巨口 | 27.0% | 1.9% | 14.0 | 3.4% | 46.6% | 1.09% | 164.83 | |
| 黎源 | 26.4% | 1.7% | 16.0 | 4.6% | 46.9% | 1.08% | 145.40 | |
| 枫坡 | 27.2% | 1.8% | 15.0 | 3.7% | 44.2% | 1.16% | 153.16 | |
| 黄土 | 25.9% | 1.6% | 16.0 | 3.9% | 43.6% | 1.12% | 152.80 | |
| 南源岭 | 24.2% | 1.7% | 14.0 | 4.0% | 43.1% | 1.02% | 148.64 | |
| 平均值 | 25.8% | 1.8% | 14.7 | 3.8% | 44.6% | 1.10% | 150.31 | |
| 变异度 | 0.056 | 0.071 | 0.086 | 0.12 | 0.039 | 0.048 | 0.062 | |

从表1、表2可知，在不同产地水仙鲜叶各生化成分含量，茶多酚、氨基酸、水浸出物、可溶性总糖平均值外山>正岩；酚氨比、儿茶素总量平均值正岩>外山，咖啡碱平均值相等。变异度氨基酸、酚氨比、水浸出物、可溶性总糖正岩>外山，茶多酚，咖啡碱、儿茶素总量外山>正岩。除咖啡碱外，在鲜叶各生化成分中，外山变异度都小于0.1，变异度较小且相差不大，正岩则变异度相差较大。

对正岩与外山鲜叶主要生化成分采用平均值成组比较法，进行均值的t检验，不同产地水仙鲜叶主要生化成分平均值差异见表3。

从表3可知，在两地鲜叶主要生化成分含量平均值中，茶多酚、咖啡碱、可溶性总糖、儿茶素总量均值差异不明显；水浸出物差异达显著水平；氨基酸、酚氨比差异达极显著水平。

表3 不同产地水仙主要生化成分平均值差异

Table 3 The difference of average content of main chemical compounds of Shuixian in different places

| 产地 \ 生化成分 | | 茶多酚 | 氨基酸 | 酚氨比 | 咖啡碱 | 水浸出物 | 可溶性总糖 | 儿茶素总量 (mg/g) |
|-----------|----|--------|----------|----------|--------|---------|--------|-----------------|
| 正岩 | 均值 | 25.3% | 1.2% | 22.3 | 3.8% | 41.9% | 1.07% | 156.48 |
| 外山 | 均值 | 25.8% | 1.8% | 14.7 | 3.8% | 44.6% | 1.10% | 150.31 |
| t 值 | | 0.7918 | 5.1717** | 4.4100** | 0.1279 | 2.5481* | 0.6283 | 150.86 |

注：平均值成组比较，当均值的t检验自由度=10时， $t_{0.05}=2.228$ ， $t_{0.01}=3.169$

对相应水帘洞、牛栏坑茶园毛茶品质主要生化成分进行测定，结果如表4所示。

从表4可知，各生化成分含量均有不同程度的下降，但毛茶酚氨比在20左右，保持不变。

表4 水帘洞、牛栏坑毛茶主要生化成分含量

Table 4 The content of main chemical compounds of raw tea in Shuiliandong and Nujianken

| 产地 \ 生化成分 | 茶多酚 | 氨基酸 | 酚氨比 | 咖啡碱 | 水浸出物 | 可溶性总糖 | 儿茶素总量 (mg/g) |
|-----------|--------|-------|------|------|--------|-------|-----------------|
| 水帘洞 | 23.20% | 1.10% | 21.1 | 3.1% | 38.40% | 1.05% | 121.17 |
| 牛栏坑 | 18.90% | 1.10% | 17.2 | 3.3% | 35.80% | 0.99% | 107.47 |

黄建安等^[5]对2002年4个武夷岩茶和4个铁观音茶品质主要生化成分进行测定，结果如表5所示。

从表5可知，武夷岩茶水仙、肉桂的酚氨比也在20左右。

从表3可知，两地茶叶品质主要生化成分均值除儿茶素总量正岩大于外山外，其它成分均是外山大于正岩；对茶叶品质有较大影响的酚氨比，从表1、表4及表5可知，正岩鲜叶、毛茶、成品茶酚氨比都在20左右，可见，酚氨比可作为岩茶水仙质量好坏的一个重要的评判指标。从中也可知，影响岩茶品质不但与各生化成分含量有关，也与各成分之间的比例有

关，这与姚月明等对岩茶的研究结果相一致^[35]。

表 5 几种主要呈味成分含量

Table 5 The content of main taste compounds

| 系列 | 品名 | 水浸出物 | 茶多酚 | 咖啡碱 | 氨基酸总量 | 酚氨比 |
|-----|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 岩茶 | 水仙王 | 38.03% | 21.03% | 3.40% | 1.03% | 20.42 |
| | 水仙 | 39.71% | 21.44% | 3.10% | 1.02% | 21.02 |
| | 大红袍 | 38.97% | 24.50% | 3.37% | 1.00% | 21.50 |
| | 肉桂 | 38.96% | 18.70% | 3.59% | 0.89% | 18.79 |
| | 平均 | 38.92% | 20.67% | 3.37% | 0.99% | 20.43 |
| 观音茶 | 观音王 1 | 39.41% | 18.83% | 2.70% | 1.11% | 16.96 |
| | 观音王 2 | 35.76% | 14.55% | 2.26% | 1.57% | 9.27 |
| | 铁观音 1 | 34.45% | 17.93% | 3.49% | 1.42% | 12.63 |
| | 铁观音 2 | 38.81% | 17.33% | 2.75% | 1.41% | 12.29 |
| | 平均 | 38.81% | 17.16% | 2.70% | 1.38% | 12.79 |

2004 年对不同产地肉桂进行取样，并对所得 11 个样鲜叶样品进行生化测定，结果如表 6 所示。

从表 6 可知，在肉桂鲜叶主要生化成分中，茶多酚在 16.2%-25.2% 之间，氨基酸在 1.5%-1.8% 之间，酚氨比在 8.8-16.0 之间，水浸出物 33.9%-44.2% 之间，可溶性总糖 5.62%-8.08% 之间，儿茶素总量 115.08-156.19mg/g 之间。在正岩与外山、茶科所好与一般各产地中，肉桂主要生化成分含量有高有低，规律不明显。肉桂与水仙相比，氨基酸含量高，酚氨比低，可溶性总糖含量高，这与肉桂“醇厚鲜爽”品质特征相一致。

上述可知，不同产地同一品种鲜叶的品质差异，在水仙各主要生化成分中，茶多酚、氨基酸、可溶性总糖、水浸出物均值正岩小于外山；酚氨比、儿茶素总量正岩大于外山；咖啡碱两地相等。两地茶多酚、可溶性总糖、儿茶素总量均值差异不明显；水浸出物均值差异达显著水平；氨基酸、酚氨比差异达极显著水平，氨基酸、酚氨比可作为提高外山武夷岩茶水仙品质主要调控指标。肉桂不同产地鲜叶主要生化成分差异规律不明显，肉桂酚氨比基本在 12-14 之间，酚氨比不能做为提高肉桂品质的主要调控指标。因此，提高武夷岩茶品质不同品种调控指标不同。

表 6 不同产地肉桂主要生化成分含量

Table 6 The content of main chemical compounds
of Rougui in different places

| 产地 \ 生化成分 | 茶多酚 | 氨基酸 | 酚氨比 | 水浸出物 | 可溶性总糖 | 儿茶素总量 (mg/g) |
|-----------|-------|------|------|-------|-------|-----------------|
| 倒水坑 | 21.2% | 1.6% | 13.6 | 33.9% | 8.08% | 131.71 |
| 水帘洞 | 24.6% | 1.5% | 16.0 | 43.1% | 6.69% | 146.55 |
| 马头岩 | 23.8% | 1.7% | 13.8 | 44.2% | 7.46% | 149.14 |
| 茶科所 | | | | | | |
| 鱼塘* | 16.2% | 1.8% | 8.8 | 41.9% | 5.94% | 128.12 |
| 后山* | 18.2% | 1.8% | 10.0 | 42.6% | 7.25% | 137.06 |
| 八曲 | 20.3% | 1.7% | 12.2 | 41.4% | 7.18% | 115.08 |
| 钓鱼台 | 21.2% | 1.7% | 12.3 | 39.7% | 5.62% | 128.84 |
| 后山 | 22.3% | 1.8% | 12.5 | 41.5% | 5.59% | 135.84 |
| 枫树湾 | 23.9% | 1.7% | 14.2 | 42.6% | 7.90% | 143.67 |
| 南源岭 | 20.9% | 1.5% | 13.9 | 41.2% | 6.79% | 145.50 |
| 黄土 | 25.2% | 1.8% | 13.9 | 42.6% | 8.01% | 156.19 |

注: *为茶科所肉桂品质好的产地, 其它品质一般。

2.2 正岩、外山土壤化学环境差异

对正岩、外山茶园土壤进行取样，测定不同产地土壤的营养元素、pH、有机质，其结果如表7、表8所示。

从表7可知，正岩不同茶园土壤条件下，土壤全氮含量在0.177g/kg~2.125g/kg之间，变异系数为0.614，平均值为1.113g/kg；全磷含量在0.034g/kg~0.27g/kg之间，变异系数为0.771，平均值为0.143g/kg，部分产地全磷量太低而未能检测出；全钾含量在12.923g/kg~15.65g/kg之间，变异系数为0.0814，平均值为14.856g/kg；全锰含量在240.24mg/kg~330.03mg/kg之间，变异系数为0.133，平均值为286.72mg/kg；全锌含量在49.39mg/kg~149.25mg/kg之间，变异系数为0.452，平均值为98.11mg/kg；交换性钙含量在188.67mg/kg~991.49mg/kg之间，变异系数为0.609，平均值为538.12mg/kg；交换性镁含量在23.75mg/kg~46.5mg/kg之间，变异系数为0.26，平均值为35.01mg/kg；pH值在4.99~5.84之间，变异系数为0.0637，平均值为5.35；有机质含量在0.64%~1.64%之间，变异系数为0.325，平均值为1.19%；水溶性硼均未检出。

从上述可知，在正岩茶园土壤化学环境各因子中，变异度较大的是全氮、全磷、交换性钙、最小的为pH值。各产地土壤pH均值在5.35左右，处于最佳的pH值范围内，有机质含量均低于高产优质茶园2%的要求。

从表8可知，外山不同茶园土壤条件下，土壤全氮含量在0.878g/kg~2.322g/kg之间，变异系数为0.358，平均值为1.455g/kg；全磷含量在0.067g/kg~0.475g/kg之间，变异系数为0.771，平均值为0.253，部分产地全磷量太低而未能检测出；全钾含量在8.171g/kg~13.74g/kg之间，变异系数为0.194，平均值为10.079g/kg；全锰含量在105.89mg/kg~479.28mg/kg之间，变异系数为0.546，平均值为277.52mg/kg；全锌含量在184.05mg/kg~371.24mg/kg之间，变异系数为0.264，平均值为297.38mg/kg；交换性钙含量在38.4mg/kg~255.65mg/kg之间，变异系数为0.626，平均值为142.94mg/kg；交换性镁含量在7.91mg/kg~26.63mg/kg之间，变异系数为0.466，平均值为14.07mg/kg；pH值在4.05~5.15之间，变异系数为0.0799，平均值为4.7；有机质含量在0.74%~2.55%之

间，变异系数为 0.427，平均值为 1.5%；水溶性硼均未检出。

在外山茶园土壤化学环境各因子中，变异度较大的是全磷、交换性钙、最小的为 pH 值。各产地 pH 值除巨口外，其它均小于 5.0，土壤酸性增强，尤其是南源岭茶园土壤 pH 值为 4.05。土壤酸性过强，不利于茶树的生长，2002 年底在正常情况下此地茶树大量落叶，可能是土壤酸性过强所致。除黎源茶园土壤有机质含量高达 2.55%，其它产地含量也均低于高产优质茶园 2% 的要求；土壤水溶性硼含量太低，在各茶园土壤中均未检测出，表明武夷山茶园土壤普遍缺水溶性硼。

对不同产地土壤条件各因子均值进行 t 检验，各因子均值差异见表 9。

从表 9 可知，正岩产地土壤条件各因子中，全钾、全锰、交换性钙、交换性镁、pH 值平均值高于外山，全氮、全磷、全锌、有机质平均值低于外山；不同产地土壤条件各因子均值差异，全氮、全磷、全锰、有机质差异不明显，交换性钙差异显著，全钾、全锌、交换性镁、pH 值差异达极显著。正岩土壤营养元素全钾高而全氮低，外山则是全氮高而全钾低，这与姚月明对岩茶土壤研究结果有相同的趋势。正岩、外山由于土壤母质和发育程度不同，正岩内为丹霞地貌，以红色砂砾岩为主，通透性好；外山为红壤，质地粘重，两地土壤条件差异较大。

表 7 正岩茶园土壤化学环境
Table7 The chemistry environment of soil in zhenyan fields

| 土壤条件 产地 | 全氮 g/kg | 全磷 g/kg | 全钾 g/kg | 全锰 mg/kg | 全锌 mg/kg | 交换性钙 mg/kg | 交换性镁 mg/kg | 水溶性硼 mg/kg | pH | 有机质 % |
|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|--------|----------|
| 大坑口 | 0.917 | 0.07 | 12.923 | 244.96 | 49.39 | 541.93 | 26.75 | 痕量 | 5.55 | 1.3 |
| 水帘洞 | 1.399 | 0.034 | 14.14 | 297.92 | 149.25 | 991.49 | 46.5 | 痕量 | 5.55 | 0.89 |
| 大坑口入口处 | 0.177 | 痕量 | 14.729 | 284.04 | 123.81 | 222.19 | 33.84 | 痕量 | 4.99 | 1.55 |
| 牛栏坑 | 2.125 | 痕量 | 15.65 | 330.03 | 49.92 | 851.76 | 44.34 | 痕量 | 5.84 | 1.09 |
| 倒水坑 | 0.639 | 0.27 | 16.323 | 323.11 | 137.07 | 432.7 | 34.88 | 痕量 | 5.12 | 0.64 |
| 流香涧 | 1.419 | 0.199 | 15.372 | 240.24 | 79.23 | 188.67 | 23.75 | 痕量 | 5.07 | 1.64 |
| 平均值 | 1.113 | 0.143 | 14.856 | 286.72 | 98.11 | 538.12 | 35.01 | | 5.35 | 1.19 |
| 变异系数 | 0.614 | 0.771 | 0.0814 | 0.133 | 0.452 | 0.609 | 0.26 | | 0.0637 | 0.325 |

表 8 外山不同茶园土壤化学环境

Table8 The chemistry environment of soil in Waishan fields

| 土壤条件 产地 | 全氮 g/kg | 全磷 g/kg | 全钾 g/kg | 全锰 mg/kg | 全锌 mg/kg | 交换性钙 mg/kg | 交换性镁 mg/kg | 水溶性硼 mg/kg | pH | 有机质 % |
|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|--------|----------|
| 黄土 | 1.415 | 0.277 | 9.651 | 130.79 | 333.86 | 38.4 | 7.91 | 痕量 | 4.92 | 1.73 |
| 井水 | 1.217 | 0.067 | 8.171 | 479.28 | 367.88 | 77.61 | 13.2 | 痕量 | 4.76 | 1.68 |
| 巨口 | 1.123 | 0.475 | 8.763 | 426.81 | 371.24 | 247.52 | 13.83 | 痕量 | 5.15 | 1.26 |
| 南源岭 | 2.322 | 痕量 | 10.431 | 105.89 | 308.6 | 116.85 | 13.01 | 痕量 | 4.05 | 0.74 |
| 枫坡 | 0.878 | 0.198 | 9.718 | 245.54 | 184.05 | 255.65 | 26.63 | 痕量 | 4.78 | 1.02 |
| 黎源 | 1.775 | 痕量 | 13.74 | 276.78 | 218.64 | 121.61 | 9.86 | 痕量 | 4.55 | 2.55 |
| 平均值 | 1.455 | 0.254 | 10.079 | 277.52 | 297.38 | 142.94 | 14.07 | | 4.7 | 1.5 |
| 变异系数 | 0.358 | 0.672 | 0.194 | 0.546 | 0.264 | 0.626 | 0.466 | | 0.0799 | 0.427 |

表 9 不同产地土壤化学环境各因子均值差异

Table9 The difference of average content of factors of soil chemistry environment in different places

| 土壤条件 产地 | 全氮 g/kg | 全磷 g/kg | 全钾 g/kg | 全锰 mg/kg | 全锌 mg/kg | 交换性钙 mg/kg | 交换性镁 mg/kg | pH | 有机质 % |
|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------|----------|
| 正岩 均值 | 1.113 | 0.143 | 14.856 | 286.72 | 98.11 | 538.12 | 35.01 | 5.35 | 1.19 |
| 外山 均值 | 1.455 | 0.254 | 10.079 | 277.52 | 297.38 | 142.94 | 14.07 | 4.7 | 1.5 |
| t 值 | 0.976 | 1.092 | 5.08** | 0.144 | 5.405** | 2.85* | 4.566** | 3.147** | 1.02 |

注: 平均值成组比较, 当均值的 t 检验自由度=6 时, $t_{0.05}=2.447$, 自由度=10 时, $t_{0.05}=2.228$, $t_{0.01}=3.169$;

2.3 正岩、外山水仙鲜叶营养元素差异

在同一地点对鲜叶进行取样，鲜叶经固样、烘干后，带回实验室测定不同产地鲜叶的营养元素含量，结果如表 10、表 11 所示。

从表 10 可知，在正岩不同茶园鲜叶各营养元素中，全氮含量在 $3.203\text{g/kg} \sim 4.485\text{g/kg}$ 之间，变异系数为 0.117，平均值为 3.908g/kg ；全磷含量在 $1.587\text{g/kg} \sim 1.828\text{g/kg}$ 之间，变异系数为 0.0521，平均值为 1.697g/kg ；全钾含量在 $11.702\text{g/kg} \sim 12.606\text{g/kg}$ 之间，变异系数为 0.0271，平均值为 12.005g/kg ；全锰含量在 $224.9\text{mg/kg} \sim 300.38\text{mg/kg}$ 之间，变异系数为 0.116，平均值为 250.86mg/kg ；全锌含量在 $23.41\text{mg/kg} \sim 35.24\text{mg/kg}$ 之间，变异系数为 0.148，平均值为 29.2mg/kg ；全钙含量在 $1.31\text{mg/kg} \sim 1.41\text{mg/kg}$ 之间，变异系数为 0.0297，平均值为 1.37mg/kg ；全镁含量在 $103.88\text{mg/kg} \sim 107.89\text{mg/kg}$ 之间，变异系数为 0.0161，平均值为 106mg/kg ；全硼含量在 $2.63\text{mg/kg} \sim 29.84\text{mg/kg}$ 之间，变异系数为 0.682，平均值为 16.11mg/kg 。除全硼含量变异度较大外，其余变异度均较小。

表 10 正岩茶园鲜叶营养元素含量

Table10 The content of nutrient of fresh leaves in Zhenyan fields

| 产地 | 营养元素 全氮 g/kg | 全磷 g/kg | 全钾 g/kg | 全锰 mg/kg | 全锌 mg/kg | 全钙 mg/kg | 全镁 mg/kg | 全硼 mg/kg |
|--------|--------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 大坑口 | 3.691 | 1.729 | 12.606 | 224.9 | 23.41 | 1.4 | 107.42 | 22.89 |
| 水帘洞 | 3.203 | 1.72 | 11.948 | 268.38 | 28.87 | 1.34 | 103.88 | 12.29 |
| 大坑口入口处 | 4.255 | 1.828 | 12.11 | 249.36 | 35.24 | 1.4 | 105.2 | 23.68 |
| 牛栏坑 | 3.742 | 1.71 | 11.702 | 232.2 | 27.1 | 1.35 | 104.34 | 29.84 |
| 倒水坑 | 4.072 | 1.587 | 11.876 | 300.38 | 27.43 | 1.41 | 107.89 | 5.33 |
| 流香涧 | 4.485 | 1.607 | 11.788 | 229.92 | 33.16 | 1.31 | 107.07 | 2.63 |
| 平均值 | 3.908 | 1.697 | 12.005 | 250.86 | 29.2 | 1.37 | 106 | 16.11 |
| 变异系数 | 0.117 | 0.0521 | 0.0271 | 0.116 | 0.148 | 0.0297 | 0.0161 | 0.682 |

从表 11 可知，外山不同茶园鲜叶各营养元素中，全氮含量在 $3.612\text{g/kg} \sim 4.49\text{g/kg}$ 之间，变异系数为 0.0921，平均值为 3.958g/kg ；全磷含量在 $1.687\text{g/kg} \sim 1.993\text{g/kg}$ 之间，变异系数为 0.0683，平均值为 1.823g/kg ；全钾含量在 $11.305\text{g/kg} \sim 12.744\text{g/kg}$ 之间，变异系数为 0.0271，平均值为 11.848g/kg ；全锰含量在 $242.26\text{mg/kg} \sim 405.75\text{mg/kg}$ 之间，变异系数为

0.179, 平均值为 353.01mg/kg; 全锌含量在 5.44mg/kg~25.52mg/kg 之间, 变异系数为 0.435, 平均值为 16.87mg/kg; 全钙含量在 1.36mg/kg~1.4mg/kg 之间, 变异系数为 0.0102, 平均值为 1.38mg/kg; 全镁含量在 86.46mg/kg~101.89mg/kg 之间, 变异系数为 0.0657, 平均值为 96.53mg/kg; 全硼含量在 12.83mg/kg~31.87mg/kg 之间, 变异系数为 0.328, 平均值为 19.94mg/kg。各营养元素含量变异度均较小。

表 11 外山茶园鲜叶营养元素含量

Table11 The content of nutrient of fresh leaves in Waishan fields

| 产地 \ 营养元素 | 全氮 | 全磷 | 全钾 | 全锰 | 全锌 | 全钙 | 全镁 | 全硼 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| 产地 | g/kg | g/kg | g/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg |
| 黄土 | 3.866 | 1.928 | 11.702 | 346.01 | 21.95 | 1.39 | 99.54 | 31.87 |
| 井水 | 4.336 | 1.75 | 11.746 | 327.49 | 13.51 | 1.38 | 101.89 | 17.17 |
| 巨口 | 3.612 | 1.865 | 11.969 | 404.17 | 25.52 | 1.4 | 100.69 | 16.98 |
| 南源岭 | 3.716 | 1.687 | 12.744 | 242.26 | 5.44 | 1.37 | 86.46 | 21.66 |
| 枫坡 | 4.49 | 1.993 | 11.305 | 392.36 | 13.76 | 1.38 | 90.74 | 19.16 |
| 黎源 | 3.73 | 1.713 | 11.619 | 405.75 | 21.01 | 1.36 | 99.84 | 12.8 |
| 平均值 | 3.958 | 1.823 | 11.848 | 353.01 | 16.87 | 1.38 | 96.53 | 19.94 |
| 变异系数 | 0.0921 | 0.0683 | 0.0413 | 0.179 | 0.435 | 0.0102 | 0.0657 | 0.328 |

对不同产地鲜叶营养元素均值差异进行 t 测验, 结果如表 12 所示。

从表 12 可知, 在不同产地鲜叶营养元素含量中, 全钾、全锌、全镁均值正岩鲜叶高于外山, 全氮、全磷、全锰、全钙、全硼均值正岩小于外山; 在各营养元素中, 全氮、全磷、全钾、全钙、全硼差异不显著, 全锰、全锌、全镁差异达极显著水平。

表 12 不同产地鲜叶营养元素均值差异

Table12 The difference of average content of nutrient of fresh leaves in different fields

| 产地 \ 营养元素 | 全氮 | 全磷 | 全钾 | 全锰 | 全锌 | 全钙 | 全镁 | 全硼 |
|-----------|-------|-------|--------|---------|---------|-------|---------|-------|
| 产地 | g/kg | g/kg | g/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg | mg/kg |
| 正岩 均值 | 3.908 | 1.697 | 12.005 | 250.86 | 29.2 | 1.37 | 106 | 16.11 |
| 外山 均值 | 3.958 | 1.823 | 11.848 | 353.01 | 16.87 | 1.38 | 96.53 | 19.94 |
| t 值 | 0.21 | 2.018 | 0.656 | 3.601** | 3.548** | 0.663 | 3.521** | 0.734 |

注: 平均值成组比较, 当均值的 t 检验自由度自由度=10 时, $t_{0.05}=2.228$, $t_{0.01}=3.169$;

从表 9、表 12 可知，由于土壤条件的综合作用，各营养元素从土壤到鲜叶中含量变化不同。全氮、全钾、全镁表现相同的趋势，全氮含量土壤、鲜叶均是正岩小于外山；全钾、全镁含量土壤、鲜叶均是正岩大于外山，但变化不同，全钾含量土壤差异显著，鲜叶中却差异不显著，全镁含量土壤和鲜叶中均是正岩显著大于外山。全锰含量在土壤中，正岩大于外山，两者差异不显著，鲜叶中则外山显著大于正岩。全锌含量变化相反，在土壤中正岩显著小于外山，鲜叶中则正岩显著大于外山。因此，对茶园土壤营养元素的调控，并不能因土壤缺什么而补充什么，应当根据茶园土壤、鲜叶的实际情况进行调控，根部施肥与叶面施肥应采取不同的调控措施。

2.4 土壤化学环境—鲜叶营养元素—品质的关系

2.4.1 正岩土壤化学环境—鲜叶营养元素—品质的关系

2.4.1.1 土壤化学环境和鲜叶营养元素的关系

对正岩茶园土壤化学环境各因子和鲜叶各营养元素之间的相关性进行统计，其相互间的相关系数如表 12 所示。

从表 13 可知，鲜叶各营养元素含量除全硼外与土壤全氮含量成正相关外，其它成负相关，但影响均未达到显著水平。鲜叶中全氮、全锰、全锌、全镁与土壤全钾含量成正相关，全磷、全钾、全钙、全硼与土壤全钾含量成负相关，且全钾土壤全钾达显著负相关。鲜叶全锰、全钙、全硼含量与土壤全镁含量成正相关，其他元素成负相关，但鲜叶各营养元素相关性显著。鲜叶全锰、全锌、全钙与土壤全锌含量成正相关，且全锰成显著正相关，全氮、全磷、全钾、全镁、全硼成负相关。鲜叶全磷、全锰、全硼与土壤交换性钙含量成正相关，全氮、全钾、全锌、全钙、全镁成负相关，其中全氮成显著负相关。鲜叶全磷、全锰、全硼与土壤交换性镁含量成正相关，全氮、全钾、全锌、全钙、全镁成负相关，但各营养元素相关性都未达到显著水平。鲜叶全磷、全钾、全硼与土壤 pH 值成正相关，全氮、全锰、全锌、全钙、全镁含量成负相关。鲜叶全氮、全磷、全钾、全锌、全镁、全硼含量与土壤有机质含量成正相关，全锰、全钙含量成负相关性，各相关系数均小于临界值。

表 13 正岩鲜叶营养元素与土壤化学环境因子的相关系数

Table13 Coefficient of correlation of fresh leavecontent of nutrients s and factors of soil chemistry environment in Zhenyan fields

| 营养元素 土壤条件 | 全氮 | 全磷 | 全钾 | 全锰 | 全锌 | 全钙 | 全镁 | 全硼 |
|--------------|-----------------------|---------|----------------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|
| 全氮 | -0.3526 | -0.2797 | -0.4884 | -0.3750 | -0.3173 | -0.6945 | -0.4078 | 0.1429 |
| 全钾 | 0.4641 | -0.5470 | -0.8505 [*] | 0.4829 | 0.3230 | -0.1429 | 0.0209 | -0.547 |
| 全锰 | -0.3185 | -0.0408 | -0.5554 | 0.5882 | -0.1430 | 0.2269 | -0.4112 | 0.2308 |
| 全锌 | -0.1282 | -0.0117 | -0.2189 | 0.8292 [*] | 0.3942 | 0.1248 | -0.1706 | -0.4748 |
| 交换性钙 | -0.9328 ^{**} | 0.1124 | -0.1167 | 0.0958 | -0.5559 | -0.1574 | -0.6414 | 0.3362 |
| 交换性镁 | -0.7070 | 0.2471 | -0.4113 | 0.3569 | -0.1370 | -0.0549 | -0.8076 | 0.3443 |
| pH | -0.7547 | 0.1375 | 0.0233 | -0.3194 | -0.6965 | -0.1424 | -0.4801 | 0.579 |
| 有机质 | 0.5624 | 0.3658 | 0.1979 | -0.7738 | 0.5513 | -0.2927 | 0.0337 | 0.1463 |

注：自由度 df=4 时，r 的临界值 $r_{0.05}=0.811$, $r_{0.01}=0.917$

从上述可知,正岩土壤化学环境各因子对鲜叶内各营养元素的作用和影响程度不一样,鲜叶全锰含量与土壤全锌含量成显著正相关,相关系数达0.8292,表明鲜叶全锰含量变异中的68.8%由土壤全锌含量变异引起。鲜叶全钾含量与土壤全钾含量成显著正相关,鲜叶全氮含量与土壤交换性钙含量成极显著负相关,相差系数分别为-0.8505、-0.9328;表明鲜叶全钾含量变异的72.3%由土壤全钾含量变异引起,鲜叶全氮含量变异的87%由土壤交换性钙含量变异引起。其它均未达到显著水平,影响不明显。

2.4.1.2 品质主要生化成分和鲜叶营养元素的关系

对正岩品质主要生化成分与鲜叶内各营养元素之间的相关性进行统计,其相关系数见表14。

从表14可知,茶多酚、氨基酸水浸出物、儿茶素总量与鲜叶全氮含量成正相关,且氨基酸成显著正相关,酚氮比、可溶性总糖成负相关,且酚氮比成显著负相关。可溶性总糖与鲜叶全磷成负相关,其它成分成正相关,各相关系数均未达到显著水平。茶多酚、酚氮比、咖啡碱、水浸出物与鲜叶全钾含量成正相关,氨基酸、可溶性总糖、儿茶素总量成负相关,各相关系数均未达到显著水平。可溶性总糖与鲜叶全锰含量成正相关,其它生化成分成负相关,各相关系数均未达到显著水平。氨基酸、可溶性总糖与鲜叶全锌含量成正相关,茶多酚、酚氮比、咖啡碱、水浸出物、儿茶素总量成负相关,各相关系数均未达到显著水平。氨基酸、咖啡碱、水浸出物、可溶性总糖与鲜叶全钙含量成正相关,茶多酚、酚氮比、儿茶素总量成负相关,各相关系数均未达到显著水平。茶多酚、氨基酸、咖啡碱、水浸出物与鲜叶全镁含量成正相关,酚氮比、可溶性总糖、儿茶素总量成负相关,各相关系数均未达到显著水平。可溶性总糖与鲜叶全硼含量成负相关,其它生化成分均成正相关,且儿茶素总量成显著正相关。

从上述可知,鲜叶氨基酸与全氮、儿茶素总量与全硼成显著正相关,鲜叶酚氮比与全氮成显著负相关,其它相关系数均小于显著水平的临界值。氨基酸、儿茶素总量的变异主要由鲜叶全氮、全硼含量变异引起。

表 14 正岩鲜叶主要生化成分与营养元素的相关系数

Table14 Coefficient of correlation of between main chemical compounds and content of nutrients in fresh leaves in zhenyan field

| 生化因子 营养元素 | 茶多酚 | 氨基酸 | 酚氨比 | 咖啡碱 | 水浸出物 | 可溶性总糖 | 儿茶素总量 |
|--------------|---------|---------------------------|----------------------------|----------------|--------|---------|---------------------------|
| 全氮 | 0.2041 | 0.8217[*] | -0.8537[*] | -0.0105 | 0.6491 | -0.8015 | 0.6400 |
| 全磷 | 0.2351 | 0.2622 | 0.0185 | 0.1217 | 0.3080 | -0.0653 | 0.3896 |
| 全钾 | 0.5597 | -0.1298 | 0.3884 | 0.7425 | 0.5537 | -0.2926 | -0.0993 |
| 全锰 | -0.0994 | -0.0247 | -0.1863 | -0.6762 | -0.338 | 0.5744 | -0.6747 |
| 全锌 | -0.6602 | 0.1382 | -0.226 | -0.7977 | -0.321 | 0.4422 | -0.4846 |
| 全钙 | -0.2187 | 0.2013 | -0.1285 | 0.2274 | 0.5293 | 0.0205 | -0.1636 |
| 全镁 | 0.2168 | 0.1421 | -0.201 | 0.4272 | 0.5362 | -0.5107 | -0.1032 |
| 全硼 | 0.6233 | 0.1868 | 0.0085 | 0.4723 | 0.3284 | -0.4696 | 0.8326[*] |

注：自由度 df=4 时，r 的临界值 $r_{0.05}=0.811$, $r_{0.01}=0.917$

2.4.1.3 土壤化学环境-鲜叶营养元素-品质三者关系

如前所述，岩茶品质不仅与各生化成分总量有关，而且与各成分之间的比例有关。正岩土壤化学环境各因子对鲜叶内各营养元素含量的影响作用和程度不一样，鲜叶全锰含量与土壤全锌含量成显著正相关，即土壤全锌量越高，鲜叶全锰量也愈高；鲜叶全钾含量与土壤全钾含量、鲜叶全氮含量与土壤交换性钙含量成显著负相关，即土壤全钾、交换性钙含量越高，鲜叶全钾、全氮量越低，其它相关系数均小于相关系数 r 的临界值。氨基酸与鲜叶全氮、儿茶素总量与全硼成显著正相关，酚氨比与鲜叶全氮成显著负相关，即鲜叶全氮、全硼含量越高，氨基酸、儿茶素总量也越高。其它相关系数均小于显著水平的临界值。

由于土壤条件的综合作用，从而影响到茶树对各种营养元素的吸收，进而影响到品质主要生化成分的总量和比例。传统的“武夷耕作法”对茶叶品质的形成是有一定的道理的，正岩产区土壤中富含钾元素及各种微量元素，尤其是速效性钾，通过对茶园进行挖山、培土，一则可加速茶园土壤风化，释放出茶园土壤营养元素，二则移入岩缝地表之枯枝落叶和肥土，补充有机肥，从而提供茶树所需的营养。不施速效肥，尤其是氮肥，防止茶树对氮元素的过多吸收，导致氨基酸含量升高，影响酚氨比，从而影响

到鲜叶的质量，进而影响到茶叶的品质。近年为提高茶叶产量，正岩茶园大量施用无机肥，导致茶叶品质下降即是一个很好的例证。

2.4.2 外山土壤化学环境—鲜叶营养元素—品质的关系

2.4.2.1 土壤化学环境和鲜叶营养元素的关系

对外山不同茶园土壤条件和鲜叶营养元素之间的相关性进行统计，其相关系数如表 15 所示。

从表 15 可知，外山鲜叶全钾、全硼含量与土壤全氮含量成正相关，全氮、全磷、全锰、全锌、全钙、全镁含量成负相关，各相关系数均未达到显著水平；鲜叶全锰、全锌含量与土壤全钾成正相关，全氮、全磷、全钾、全钙、全镁、全硼成负相关，且全钙达显著水平，其它相关系数未达到显著水平；鲜叶全氮、全锰、全锌、全钙、全镁含量与土壤全锰成正相关，全磷、全钾、全硼成负相关，各相关系数均未达到显著水平；鲜叶全钾、全锌、全钙、全镁、全硼与土壤全锌含量成正相关，全氮、全磷、全锰含量成负相关，各相关系数均未达到显著水平；鲜叶全氮、全磷、全锰含量与土壤交换性钙含量成正相关，全钾、全钙、全镁、全硼成负相关，各相关系数均未达到显著水平；鲜叶全氮、全磷、全锰含量与土壤交换性镁成正相关，全钾、全锌、全钙、全镁、全硼含量成负相关，各相关系数均未达到显著水平；鲜叶全氮、全磷、全锰、全锌、全钙、全镁、全硼与土壤 pH 值成正相关，且全锌达显著水平，鲜叶全钾成负相关；鲜叶全锰、全锌、全镁含量与土壤有机质成正相关，全氮、全磷、全钾、全钙、全硼含量成负相关，各相关系数均未达到显著水平。

从上述可知，鲜叶全锌与土壤 pH 值成显著正相关，鲜叶全钙与土壤全钾成显著负相关，其它相关系数均未达到显著水平。鲜叶全磷、全钾、全锰含量与土壤全氮，鲜叶全锰、全钙、全镁含量与土壤 pH 值、鲜叶全镁含量与土壤有机质相关系数均在 0.7 以上，决定系数在 50% 左右，表明对其有较大影响。

表 15 外山鲜叶营养元素和茶园土壤化学环境的相差系数

Table15 Coefficient of correlation of between nutrients content of fresh leaves and soil chemistry environment in Waishan fields

| 土壤 鲜叶 | 全氮 | 全磷 | 全钾 | 全锰 | 全锌 | 全钙 | 全镁 | 全硼 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 全氮 | -0.5914 | -0.7769 | 0.7906 | -0.6846 | -0.4744 | -0.6258 | -0.4306 | 0.0483 |
| 全钾 | -0.3746 | -0.3873 | -0.0479 | 0.2009 | 0.0710 | -0.8332* | -0.1018 | -0.3308 |
| 全锰 | 0.2278 | -0.0622 | -0.3163 | 0.4436 | 0.3461 | 0.3431 | 0.6597 | -0.609 |
| 全锌 | -0.3299 | -0.2112 | 0.4473 | -0.3276 | 0.1682 | 0.6633 | 0.4322 | 0.2691 |
| 交换性钙 | 0.1222 | 0.4172 | -0.2063 | 0.4944 | 0.1379 | -0.0116 | -0.2435 | -0.4645 |
| 交换性镁 | 0.6870 | 0.5257 | -0.3642 | 0.2137 | -0.3106 | -0.0496 | -0.4816 | -0.2423 |
| pH | 0.1181 | 0.6670 | -0.6260 | 0.7353 | 0.8244* | 0.7733 | 0.7087 | 0.0829 |
| 有机质 | -0.1547 | -0.2325 | -0.4732 | 0.5053 | 0.5534 | -0.2011 | 0.7171 | -0.2616 |

注：自由度 $df=4$ 时， r 的临界值 $r_{0.05}=0.811$, $r_{0.01}=0.917$

2.4.2.2 鲜叶营养元素与品质的关系

对外山鲜叶营养元素与品质主要生化成分的相关性进行统计,其结果如表 16 所示。

从表 16 可知,外山氨基酸、可溶性总糖与鲜叶全氮成正相关,茶多酚、酚氨比、咖啡碱、水浸出物、儿茶素总量成负相关,各相关系数均未达显著水平;茶多酚、氨基酸、酚氨比、可溶性总糖、儿茶素总量与鲜叶全磷成正相关,咖啡碱、水浸出物成负相关,各相关系数均未达显著水平;咖啡碱、儿茶素总量与鲜叶全钾成正相关,茶多酚、氨基酸、酚氨比、水浸出物成负相关,且可溶性总糖成显著负相关;各生化成分与鲜叶全锰均成正相关,且茶多酚成显著正相关;氨基酸、儿茶素总量与鲜叶全锌含量成正相关,茶多酚、酚氨比、咖啡碱、水浸出物、可溶性总糖成负相关,各相关系数均未达显著水平;茶多酚、氨基酸、可溶性总糖与鲜叶全钙含量成正相关,酚氨比、咖啡碱、水浸出物成负相关,各相关系数均未达显著水平;茶多酚、氨基酸、酚氨比、水浸出物、可溶性总糖与鲜叶全镁含量成正相关,咖啡碱、儿茶素总量成负相关,各相关系数均未达显著水平;酚氨比、可溶性总糖、儿茶素总量与鲜叶全硼含量成正相关,茶多酚、氨基酸、咖啡碱、水浸出物成负相关,各相关系数均未达显著水平。

表 16 外山鲜叶主要生化成分与营养元素的相关系数

Table 16 Coefficient of correlation of between main chemical compounds and content of nutrients in fresh leaves of Waishan fields

| 生化成分 营养元素 | 茶多酚 | 氨基酸 | 酚氨比 | 咖啡碱 | 水浸出物 | 可溶性总糖 | 儿茶素总量 |
|--------------|----------------|---------|---------|---------|---------|-----------------|---------|
| 全氮 | -0.0290 | 0.3116 | -0.2211 | -0.4008 | -0.4655 | 0.7769 | -0.4289 |
| 全磷 | 0.6793 | 0.00574 | 0.3106 | -0.3477 | -0.0481 | 0.7524 | 0.5361 |
| 全钾 | -0.6104 | -0.1205 | -0.4014 | 0.03330 | -0.2780 | -0.8994* | 0.03675 |
| 全锰 | 0.8589* | 0.2555 | 0.4092 | 0.05185 | 0.7759 | 0.5708 | 0.3774 |
| 全锌 | -0.4709 | 0.2917 | -0.5635 | -0.5972 | -0.1905 | -0.2103 | 0.07482 |
| 全钙 | 0.09821 | 0.2962 | -0.2544 | -0.7849 | -0.2007 | 0.4898 | 0.3622 |
| 全镁 | 0.1434 | 0.2671 | 0.03916 | -0.1896 | 0.4487 | 0.3710 | -0.0655 |
| 全硼 | -0.1303 | -0.6111 | 0.2925 | -0.0994 | -0.6050 | 0.09045 | 0.1767 |

注：自由度 $df=4$ 时， r 的临界值 $r_{0.05}=0.811$, $r_{0.01}=0.917$

从上述可知，品质主要生化成分与鲜叶营养元素的关系，可溶性总糖与鲜叶全钾含量成显著负相关，相关系数达-0.8994，茶多酚与全锰含量成显著正相关，相关系数达0.8599，其它均未达到显著水平。可溶性总糖与鲜叶全氮、全磷，水浸出物与全锰、咖啡碱与全钙相关系数大于0.7，决定系数在50%左右，对其有较大影响。

2.4.2.3 外山土壤化学环境—鲜叶营养元素—品质的关系

鲜叶全锌与土壤pH值成显著正相关，鲜叶全钙与土壤全钾成显著负相关，其它相关系数均未达到显著水平，鲜叶全磷、全钾、全锰与土壤全氮含量，鲜叶全锰、全钙、全镁与土壤pH值含量、鲜叶全镁含量与土壤有机质相关系数在0.7以上，表明对其影响较大；可溶性总糖与鲜叶全钾含量成显著负相关，相关系数达-0.8994，茶多酚与全锰含量成显著正相关，相关系数达0.8599，其它均未达到显著水平。

2.4.3 不同产地三者之间相关系数的差异

2.4.3.1 鲜叶营养元素与土壤化学环境相关系数的差异

对正岩和外山土壤化学环境与鲜叶营养元素相关系数进行同质性检验, u 值如表 17 所示。

从表 17 可知, 两地鲜叶营养元素与土壤化学环境相关系数差异, 鲜叶全氮与土壤交换性钙、交换性镁差异显著, 鲜叶全锌与 pH 值差异显著, 其它 u 值均小于临界值, 表明两地除鲜叶全氮与土壤交换性钙、交换性镁、鲜叶全锌与 pH 值三者的相关系数外, 其余经数据合并重新计算后, 可共用相同的相关系数。

表 17 鲜叶营养元素与土壤化学环境相关系数差异

Table 17 The difference of coefficient of correlation between content of nutrients of fresh leaves and soil chemistry environment

| 土壤 \ 鲜叶 | | 全氮 | 全磷 | 全钾 | 全锰 | 全锌 | 全钙 | 全镁 | 全硼 |
|---------|--|-------|-------|-------|------|--------|------|-------|-------|
| u | | | | | | | | | |
| 全氮 | | 0.382 | 0.92 | 1.91 | 0.54 | 0.23 | 0.15 | 0.033 | 0.39 |
| 全钾 | | 1.09 | 1.25 | 1.60 | 0.39 | 0.32 | 1.29 | 0.15 | 0.061 |
| 全锰 | | 0.69 | 0.026 | 0.37 | 0.24 | 0.62 | 0.16 | 1.51 | 0.62 |
| 全锌 | | 0.61 | 0.24 | 0.86 | 1.87 | 0.30 | 0.83 | 0.78 | 1.44 |
| 交换性钙 | | 2.06* | 0.41 | 0.11 | 0.55 | 0.14 | 0.17 | 0.64 | 0.66 |
| 交换性镁 | | 2.11* | 0.41 | 0.068 | 0.19 | 0.22 | 0.13 | 0.73 | 0.27 |
| pH | | 1.35 | 0.82 | 0.93 | 1.56 | 2.49* | 1.44 | 1.72 | 0.50 |
| 有机质 | | 0.97 | 0.76 | 0.88 | 1.94 | 0.0025 | 0.62 | 1.06 | 1.53 |

注: 相关系数差异的临界值 $u_{0.05}=1.96$, $u_{0.01}=2.58$ 。

2.4.3.2 品质主要生化成分与鲜叶营养元素相关系数的差异

对鲜叶营养元素与品质主要生化成分相关系数的差异进行同质性检验, u 值如表 18 所示。

从表 18 可知, 两地鲜叶营养元素与品质主要生化成分相关系数的差异, 鲜叶全氮与可溶性总糖相关系数差异显著, 二者不能共用相关系数, 其它相关系数差异不显著, 重新计算后可共用相同的相关系数。

表 18 品质主要生化成分与鲜叶营养元素相关系数差异

Table 18 The difference of coefficient of correlation between main chemical compounds and content of nutrients in fresh leaves

| 营养元素 u 生化成分 | 茶多酚 | 氨基酸 | 酚氨比 | 咖啡碱 | 水浸出物 | 可溶性总糖 | 儿茶素总量 (mg/g) |
|-------------------|-------|-------|------|------|------|--------|-----------------|
| | 全氮 | 0.51 | 1.03 | 1.28 | 0.51 | 1.57 | 2.62* |
| 全磷 | 0.72 | 0.32 | 0.37 | 0.59 | 0.45 | 1.28 | 0.23 |
| 全钾 | 1.64 | 0.012 | 1.02 | 1.13 | 1.11 | 1.43 | 0.077 |
| 全锰 | 1.7 | 0.35 | 1.02 | 1.07 | 1.7 | 0.0061 | 1.22 |
| 全锌 | 0.35 | 0.20 | 0.50 | 0.49 | 0.17 | 0.84 | 0.74 |
| 全钙 | 0.39 | 0.12 | 0.23 | 1.58 | 0.97 | 0.63 | 0.67 |
| 全镁 | 0.092 | 0.16 | 0.30 | 0.79 | 0.14 | 1.17 | 0.046 |
| 全硼 | 1.06 | 1.10 | 0.36 | 0.75 | 1.28 | 0.74 | 1.47 |

注: 相关系数差异的临界值 $u_{0.05}=1.96$, $u_{0.01}=2.58$ 。

2.5 土壤化学环境、鲜叶营养元素对鲜叶香气成分的影响

2.5.1 不同产地鲜叶香气成分差异

1920年荷兰化学家 Rombutgh P.Y.从2.5吨发酵叶中分离鉴定 β 、 γ -己烯醇和水杨酸甲酯，若将这类研究列为香气研究的范畴，至今对茶叶香气的研究已有八十多年的历史。迄今被分离鉴定的茶叶香气物质约700多种，其中鲜叶中约80余种。对乌龙茶的研究认为橙花叔醇、茉莉内酯、茉莉酮酸甲酯、吲哚、香叶醇和3,7-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇、法呢烯、乙酸苄酯、芳樟醇及其氧化物、苯甲醇、2-苯乙醇、顺-茉莉酮、茉莉酮内酯、水杨酸-3-己烯酯、邻苯二甲酸二丁酯和两种未鉴定成分是乌龙茶的特征香气成分，各种乌龙茶还有各自的特征香气成分，橙花叔醇是构成福建乌龙茶品种最主要成分^[52-59]。

对不同产地水仙鲜叶香气成分进行GC-MS测定，结果如附表1所示。

从附表1可知，不同产地水仙鲜叶香气物质共检出六大类30种香气物质，其中碳水化合物1种，烯类1种，醇类20种，酮类2种，酯类3种，酸类2种，含氮化合物1种，醇类物质种类占总数近70%。不同香气物质中含量较高的（相对量大于1）有乙醇、3-甲基-2-丁醇、芳樟醇、香叶醇、橙花叔醇、乙酸乙酯、吲哚，尤其是乙醇，水仙鲜叶香气组分在各产地除井水外中含量都是最高。

水仙各产地之间香气成分总量相差较大，正岩鲜叶香气成分总量平均是外山的2.67倍。白岩由于吲哚含量特高，在总量上居第一，这可能与白岩产地土质为水化红壤，富含 $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ 有关，其后依次为牛栏坑、水帘洞、流香涧、江墩、前兰知青点、枫坡、井水，排除吲哚的影响，香气总量成正岩>半岩>外山的趋势。

对不同产地肉桂鲜叶香气成分进行GC-MS测定，结果如附表2所示。

从附表2可知，肉桂鲜叶不同产地共检测出七大类28种香气物质，其中碳水化合物1种，醇类18种，酮类2种，酯类2种，酸类3种，含氮化合物1种，醛类2种，醇类物质占总数的70%。在肉桂鲜叶各香气物质中含量较高的（相对量大于1）有 α -法呢烯、乙醇、2-己醇、反式-芳樟醇氧化物、芳樟醇、香叶醇、苯甲醇、2,6-二甲基-3,7-辛二烯-2,6-二醇、橙花叔醇、2,4-戊二醇、乙酸乙酯、乙酸、棕榈酸、吲哚，水

帘洞以乙醇含量最高，其它三地以橙花叔醇含量最高。香气成分总量成正岩>半岩>外山趋势。

从中可知，在武夷岩茶鲜叶各香气成分以醇类物质为主，不同品种鲜叶主要香气物质不同，水仙以乙醇含量最高，肉桂以橙花叔醇含量最高；在香气总量上，成正岩>半岩>外山趋势，不同品种香气总量不同，肉桂总量是水仙的2倍左右，种类更多，从而表现出肉桂香气高锐，水仙清幽的得气特征；不同产地鲜叶香气成分中有相同的物质，也有独有的香气物质，且同一香气成分含量及比例不同，从而表现出不同品种及不同产地各自的香气特征。

对武夷岩茶香气成分分析认为，芳樟醇氧化物、橙花叔醇、香叶醇、苯甲醇、苯乙醇、吲哚、顺茉莉酮、茉莉酮内酯和茉莉酮酸甲酯等是构成岩茶典型特征香气^[32]。在鲜叶香气成分中，测出的香气成分有芳樟醇及其氧化物、苯甲醇、吲哚、茉莉酮酸甲酯，橙花叔醇，表明武夷岩茶香气物质以鲜叶香气成分为主，部分通过后期的加工产生新的香气成分，最终形成岩茶香气馥郁，锐则浓长，清则幽远的香气特征。

2.5.2 土壤化学环境对鲜叶香气成分的影响

目前对茶叶香气的研究，主要集中在品种、加工工艺对茶叶香气成分种类和数量的影响，对于土壤化学环境对香气成分的影响尚未见报道。

对武夷岩茶土壤化学性状与鲜叶香气成分相关性进行统计，其结果如附表3所示。

从附表3可知，香叶醇与土壤全氮、橙花叔醇与全钾、乙醇与pH值成显著正相关，相关系数分别为0.7848、0.7698、0.8401；2-己烯-1-醇与土壤全锰、乙醇、芳樟醇氧化物总量与全锌、水扬酸甲酯、乙酸与有机质成显著负相关，相关系数分别为-0.7967、-0.8363、-0.7631、-0.8658、-0.8215，其它相关性不显著。顺式-芳樟醇、反式-芳樟醇与土壤全锌相关性均未达到显著水平，芳樟醇氧化物总量成显著负相关，土壤营养元素对一些香气成分的总量和单个成分影响程度不一样。

此外，土壤化学环境对香气成分影响较大的有 α -法尼烯、1-戊烯醇、2-己烯-1-醇总量、反式-芳樟醇氧化物、乙酸乙酯。

2.5.3 鲜叶营养元素对香气成分的影响

对鲜叶中各营养元素与香气成分的相关性进行统计，其结果如附表 4 所示。

从附表 4 可知，3-丁烯-2-酮-4(2,6,6-三甲基-1-环) 与鲜叶全钙、顺式-芳樟醇氧化物、反-香叶醇与全镁成显著正相关，相关系数分别为 0.8556、0.8295、0.8457；顺式-芳樟醇氧化物与鲜叶全磷、3-丁烯-2-酮-4(2,6,6-三甲基-1-环) 与全锌成显著负相关，相关系数为 -0.7648；其它相关系数均小于临界值。鲜叶全氮与苯甲醇、全磷与反-3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇及苯甲醇、顺式-芳樟醇氧化物及反-香叶醇与全锰、顺式-芳樟醇氧化物、反式-芳樟醇氧化物与全锌相关系数在 0.7 以上，决定系数在 0.5 左右，表明这些元素对香气成分也有较大的影响。

从附表 3、4 可知，对鲜叶香气成分形成有利的因子中，土壤营养元素中为全氮、全钾、pH 值，其中橙花叔醇与全钾、乙醇与 pH 值成显著正相关；鲜叶中为全锌、全钙、全镁，其中 3-丁烯-2-酮-4(2,6,6-三甲基-1-环) 与全钙、顺式-芳樟醇氧化物、反-3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇与全镁成显著正相关。因此，提高鲜叶香气成分含量，对土壤和鲜叶应采取不同的调控措施。

2.6 武夷岩茶土壤营养元素调控试验

2.6.1 水仙土壤营养调控试验

对马兰洲洲茶茶园进行土壤营养调控试验，试验设六因素二水平，正交设计，各处理在同一区组内随机排列。在采摘前，观测茶叶的相关经济性状，并对和处理取样，经处理后带回实验室检测品质主要生化成分。

2.6.1.1 不同处理对茶叶产量的影响

茶园土壤施肥后于鲜叶采摘前，对各处理观测茶叶发芽密度、生长强度及标准梢重等经济性状指标，结果如表 19 所示。

对发芽密度按正交试验进行统计，结果如表 20 所示。

从表 20 可知，影响发芽密度主要因素为镁肥，最佳处理是锰₁镁₂锌₂硼₂钾₁菜子饼肥₂，这个组合恰好是正交试验实际试验处理 4。

不同肥料对发芽密度进一步进行变量分析，结果如表 20 所示。从表 20 可知，不同肥料对发芽密度差异不显著。

同理可求得影响生长强度主要因素是钾肥，最佳处理是锰₁镁₂锌₂硼₁钾₁饼肥₂；影响标准梢重主要因素是硼肥，最佳处理是锰₂镁₁锌₂硼₁钾₁饼肥₁，试验组合不在正交试验实际试验组合中。不同肥料对标准梢重影响差异不显著，对生长强度钾肥差异显著。

表 19 不同处理对茶叶发芽密度、生长强度、标准梢重的影响

Table19 The effect on different treatment to bud density、growth intensity、standar tip weight of tea

| 测定项目 处理数 | 发芽密度 | | 生长强度(cm) | | 标准梢重(g) | |
|-------------|-------|-------|----------|------|---------|------|
| | I | II | I | II | I | II |
| 处理 1 | 87.67 | 83.33 | 2.68 | 2.29 | 1.87 | 1.78 |
| 处理 2 | 80.67 | 83.33 | 1.34 | 2.40 | 1.79 | 1.59 |
| 处理 3 | 85.67 | 86.33 | 2.48 | 2.52 | 1.87 | 1.90 |
| 处理 4 | 99.33 | 79.00 | 2.40 | 2.67 | 1.78 | 1.79 |
| 处理 5 | 88.00 | 79.67 | 2.35 | 2.50 | 2.12 | 1.79 |
| 处理 6 | 80.67 | 91.67 | 2.00 | 2.05 | 1.92 | 1.76 |
| 处理 7 | 90.67 | 78.00 | 2.14 | 2.01 | 1.92 | 1.77 |
| 处理 8 | 87.33 | 87.33 | 2.39 | 2.21 | 1.71 | 1.80 |

表 20 不同处理发芽密度正交试验结果与直观分析

Table 20 The perpendicular experiment result and analysis of different treatment to bud density

| 因素 处理号 | 锰肥 | 镁肥 | 肥锌 | 硼砂 | 钾肥 | 菜子饼肥 | I | II | 平均值 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 87.7 | 83.3 | 85.0 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 80.7 | 83.3 | 82.0 |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 85.7 | 86.3 | 86.0 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 99.3 | 79.0 | 89.2 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 88.0 | 79.7 | 83.9 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 80.7 | 91.7 | 86.2 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 90.7 | 78.0 | 84.4 |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 87.3 | 87.3 | 87.3 |
| | | | | | | | 700.1 | 688.6 | 684.0 |
| K1 | 342.2 | 337.1 | 338.7 | 339.3 | 345.4 | 344.8 | | | |
| K2 | 341.8 | 346.9 | 345.3 | 344.7 | 338.6 | 339.2 | | | |
| K1 平均 | 85.55 | 84.28 | 84.68 | 84.83 | 86.35 | 86.2 | | | |
| K2 平均 | 85.45 | 86.73 | 86.33 | 86.18 | 84.65 | 84.8 | | | |
| R | 0.1 | 2.45 | 1.65 | 1.35 | 1.7 | 1.4 | | | |

表 21 不同肥料对发芽密度变量分析

Table 21 The analysis of variable of bud density
in different treatment

| 变异原因 | 变异度 | 平方和 | 均方 | F | F _{0.05} | F _{0.01} |
|------|-----|--------|-------|-----|-------------------|-------------------|
| 重 复 | 1 | 62.02 | 62.02 | 1.3 | 5.59 | 12.25 |
| 锰 肥 | 1 | 0.23 | 0.23 | | | |
| 镁 肥 | 1 | 21.39 | 21.39 | | | |
| 锌 肥 | 1 | 9.15 | 9.15 | | | |
| 硼 肥 | 1 | 6.13 | 6.13 | | | |
| 钾 肥 | 1 | 13.14 | 13.14 | | | |
| 饼 肥 | 1 | 9.15 | 9.15 | | | |
| 空 列 | 1 | 7.98 | 7.98 | | | |
| 机 误 | 7 | 332.85 | 47.55 | | | |
| 总 和 | 15 | 462.04 | | | | |

对钾肥不同水平均数差异作进一步比较，可知两水平之间差异极显著。

表 22 钾肥不同水平生长强度均数差异

Table22 The difference of average value of growth intensity on levels of potassium fertilizer

| 钾肥水平 | 生长强度 | 差 异 |
|------|------|--------|
| 钾 1 | 4.82 | 0.41** |
| 钾 2 | 4.41 | |

LSD_{0.05}=0.21 LSD_{0.01}=0.288

从上述可知，影响发芽密度最佳的组合是处理 4，即锰，镁，锌，硼，钾，菜子饼肥；影响生长强度最佳组合是锰，镁，锌，硼，钾，饼肥；影响标准梢重最佳组合是锰，镁，锌，硼，钾，饼肥，试验组合不在正交试验实际试验组合中。营养调控试验表明，各种肥料对发芽密度、标准梢重差异不显著，钾肥不同水平对生长强度差异达极显著。

2. 6. 1. 2 不同处理对茶叶品质主要生化成分的影响

各处理鲜叶采摘标准为中开面二、三叶，经热风固样、烘干后，带回实验室检测品质主要生化成分，各处理品质主要生化成分含量如表 23 所示。

同理，对各处理品质主要生化因子按正交试验进行直观分析统计，可得影响茶多酚主要因素是饼肥，最佳处理是锰，镁，锌，硼，钾，饼肥；试验组合是正交试验实际试验组合处理 4；影响氨基酸主要因素是镁肥，最佳处理是锰，镁，锌，硼，钾，饼，试验组合不在正交试验实际试验组合中；影响酚氯比主要因素是镁肥，最佳处理是锰，镁，锌，硼，钾，饼肥；试验组合是正交试验实际试验组合处理 4；影响咖啡碱主要因素是饼肥，最佳处理是锰，镁，锌，硼，钾，饼，试验组合不在正交试验实际试验组合中；影响水浸出物主要因素是钾肥，最佳处理是锰，镁，锌，硼，钾，饼肥；试验组合不在正交试验实际试验组合中；影响可溶性总糖主要因素是钾肥，最佳处理是锰，镁，锌，硼，钾，饼，试验组合不在正交试验实际试验组合中；影响儿茶素总量主要因素是硼肥，最佳组合是锰，镁，锌，硼，钾，饼

肥，试验组合是正交试验实际试验组合处理 6。

表 23 不同处理鲜叶品质主要生化成分含量
Table 23 The content of main chemical compounds
of fresh leaves quality

| 生化成分 重复数 | 茶多酚 | 氨基酸 | 酚氨比 | 咖啡碱 | 水浸出物 | 可溶性总糖 | 儿茶素总量 mg/g |
|-------------|-------|------|-----|------|-------|-------|---------------|
| 重复 1 | | | | | | | |
| 处理 1 | 23.9% | 2.0% | 12 | 4.1% | 41.6% | 0.88% | 146.30 |
| 处理 2 | 21.6% | 2.1% | 10 | 3.8% | 44.6% | 1.20% | 147.98 |
| 处理 3 | 21.5% | 1.9% | 11 | 3.7% | 42.4% | 1.22% | 131.33 |
| 处理 4 | 23.5% | 2.3% | 10 | 4.3% | 44.1% | 1.05% | 127.08 |
| 处理 5 | 21.4% | 2.3% | 9 | 3.7% | 42.4% | 1.13% | 130.85 |
| 处理 6 | 21.7% | 2.2% | 10 | 4.0% | 43.0% | 1.06% | 145.53 |
| 处理 7 | 22.0% | 1.7% | 13 | 3.7% | 43.4% | 1.04% | 129.88 |
| 处理 8 | 21.6% | 2.2% | 10 | 3.7% | 42.3% | 1.03% | 132.18 |
| 重复 2 | | | | | | | |
| 处理 1 | 21.3% | 2.4% | 9 | 3.6% | 41.8% | 1.04% | 123.62 |
| 处理 2 | 21.0% | 2.0% | 11 | 3.3% | 41.9% | 1.18% | 128.54 |
| 处理 3 | 20.8% | 1.9% | 11 | 3.3% | 43.0% | 1.05% | 136.51 |
| 处理 4 | 23.9% | 1.5% | 16 | 4.1% | 41.0% | 0.97% | 155.07 |
| 处理 5 | 22.0% | 1.9% | 12 | 3.6% | 42.2% | 1.14% | 141.87 |
| 处理 6 | 22.6% | 1.9% | 12 | 4.0% | 44.3% | 1.21% | 149.91 |
| 处理 7 | 23.4% | 2.1% | 11 | 3.6% | 43.5% | 1.14% | 136.65 |
| 处理 8 | 21.5% | 1.9% | 11 | 3.4% | 41.7% | 1.09% | 136.57 |

对不同肥料对品质主要生化成分影响作进一步进行变量分析, 可得影响茶多酚不同肥料中饼肥差异显著, 但饼肥各水平之间差异不显著; 影响氨基酸、酚氨比、水浸出物、可溶性总糖、儿茶素总量各因素差异不显著; 影响咖啡碱不同肥料中, 锌肥、硼肥差异显著, 饼肥差异达极显著, 但各水平之间只有饼肥差异达显著水平。

2.6.1.3 不同处理鲜叶主要生化成分差异

对不同处理水仙鲜叶茶多酚含量进行方差分析, 结果如表 24 所示。

从表 24 可知, $F < F_{0.05}$, 差异不显著。

同理, 可得不同处理对氨基酸、酚氨比、可溶性总糖、儿茶素总量差异不显著, 咖啡碱差异达显著水平。

表 24 不同处理鲜叶茶多酚方差分析

Table24 The analysis of variance of content of Polyphenols
in different treatment

| 差异源 | df | SS | MS | F | F0.05 |
|-----|----|--------------|-------------|----------|-------|
| 组间 | 1 | 3.0625E-06 | 3.0625E-06 | 0.039521 | 5.59 |
| 处理间 | 7 | 0.001035437 | 0.00014792 | 1.90886 | 3.79 |
| 误差 | 7 | 0.0005424387 | 7.74911E-05 | | |
| 总计 | 15 | | | | |

不同处理鲜叶品质主要生化因子与正岩鲜叶相比，茶多酚、儿茶素总量小于正岩鲜叶含量，氨基酸、水浸出物大于正岩鲜叶含量，咖啡碱、可溶性总糖含量不同处理有大有小，规律不明显。除氨基酸外，各成分总量相差不大。由于不同处理鲜叶茶多酚低而氨基酸含量高，导致酚氨比小，各处理基本在 11 左右。正岩水仙鲜叶、毛茶、成品茶酚氨比均在 20 左右，以水仙鲜叶质量氨基酸、酚氨比为调控指标，水仙土壤营养元素调控试验施肥的种类和数量还有待进一步试验。

2.6.2 肉桂营养元素调控试验

在 2003 年试验的基础上，2004 年 4 月对肉桂进行营养元素调控试验。试验设单因素随机试验，各小区随机排列，重复三次。采茶前对各处理进行取样，波微固样，烘干，带回实验室检测品质主要生化成分。各处理鲜叶主要生化成分如附 5 所示。

2.6.2.1 肉桂土壤营养元素调控试验

对各小区数据进行整理及统计，肉桂土壤营养元素调控春茶各处理鲜叶生化成分如表 25 所示。

从表 25 可知，各施肥处理鲜叶主要生化成分含量与对照相比，复合肥、复合肥+硼砂处理茶多酚大于对照，复合肥+硫酸锰、复合肥+硫酸锰+硼砂处理小于对照；复合肥+硼砂处理氨基酸大于对照，复合肥处理小于对照，复合肥+硫酸锰、复合肥+硫酸锰+硼砂处理与对照相等；复合肥+硫酸锰+硼砂处理酚氨比小于对照，其它大于对照；各施肥处理的水浸出物、可溶性总糖、儿茶素总量均小于对照。

对不同处理茶多酚进行方差分析，结果如表 26 所示。

从表 26 中知，不同处理茶多酚差异不显著。

同理，可得不同处理氨基酸、酚氨比、水浸出物、儿茶素总量、可溶性总糖差异不显著。

肉桂土壤营养元素调控夏茶各处理鲜叶生化成分如表 27 所示。

从表 27 可知，肉桂鲜叶施肥不同处理主要生化成分含量与对照相比，茶多酚、水浸出物、儿茶素总量均大于对照；复合肥+锰肥处理氨基酸大于对照，其它处理相等；复合肥+锰肥处理酚氨比小于对照，其它大于对照；可溶性总糖均小于对照。

同理，对各处理主要生化成分进行方差分析，结果表明，不同处理氨基酸差异达显著水平，茶多酚、酚氨比、水浸出物、儿茶素总量、可溶性总糖差异不显著。

从上述可知，肉桂土壤营养元素调控试验鲜叶不同施肥处理主要生化成分含量与对照相比，春茶茶多酚、氨基酸、酚氨比有大有小，水浸出物、儿茶素总量均小于对照，主要是春茶施肥时间较迟、开沟施肥伤及茶树根部，影响茶树对各营养元素的吸收；夏茶各营养元素经茶树吸收后，不同施肥处理茶多酚、水浸出物、儿茶素总量均大于对照，氨基酸大于或等于对照。不同施肥处理可溶性总糖春夏茶均小于对照，春茶主要是开沟施肥伤及根部，夏茶吸收钾肥后，抑制可溶性总糖的形成。如前所述，在外山鲜叶可溶性总糖与全钾成显著负相关，春茶追肥用量较大，时间短，未被茶树吸收，春茶采摘后，茶树地下部活跃，钾肥被茶树吸收从而抑制可溶性糖的形成。

2.6.2.2 肉桂叶面营养元素调控试验

肉桂叶面营养元素调控试验春茶各处理经取样、分析测定，不同处理鲜叶主要生化成分如表 28 所示。

从表 28 可知，不同施肥处理与对照相比，喷 0.1% 硼砂处理茶多酚、酚氨比、水浸出物小于对照，其它大于对照；不同施肥氨基酸均大于对照；喷 0.6% 硫酸锰、喷 0.2% 硼砂处理小于对照，喷 0.3% 硫酸锰、喷 0.1% 硼砂处理可溶性总糖大于对照；喷 0.6% 硫酸锰、喷 0.1% 硼砂处理儿茶素总量，喷 0.3% 硫酸锰、喷 0.2% 硼砂处理大于对照。喷施相同肥料，喷 0.3%

表 25 肉桂春茶鲜叶主要生化成分

Table 25 The main chemical compounds of spring tea fresh leaves of Rougui

| 生化成分 处理 | 茶多酚 | 氨基酸 | 酚氨比 | 水浸出物 | 可溶性总糖 | 儿茶素总量 (mg/g) |
|------------|-------|------|------|-------|-------|-----------------|
| 处理一 | 29.6% | 1.9% | 15.2 | 44.8% | 4.18% | 145.99 |
| 处理二 | 27.7% | 2.0% | 14.7 | 43.3% | 4.31% | 140.56 |
| 处理三 | 29.2% | 2.1% | 14.0 | 44.4% | 3.82% | 145.70 |
| 处理四 | 28.5% | 2.0% | 14.5 | 44.1% | 4.33% | 146.52 |
| 对照 | 28.7% | 2.0% | 14.3 | 45.2% | 4.39% | 147.19 |

表 26 土壤营养调控试验茶多酚方差分析

Table 26 The analysis of variance of content
of Polyphenols on soil nutrient elements

| 差异来源 | df | SS | MS | F | F _{0.05} | F _{0.01} |
|------|----|----------|----------|----------|-------------------|-------------------|
| 组间 | 2 | 0.001199 | 0.000599 | 4.170223 | 4.46 | 8.65 |
| 处理间 | 4 | 0.000585 | 0.000146 | 1.017393 | 3.84 | 7.01 |
| 误差 | 8 | 0.001115 | 0.000144 | | | |
| 总计 | 14 | | | | | |

表 27 肉桂夏茶鲜叶主要生化成分

Table 25 The main chemical compounds of spring tea fresh leaves of Rougui

| 生化成分 处理 | 茶多酚 | 氨基酸 | 酚氨比 | 水浸出物 | 可溶性总糖 | 儿茶素总量 (mg/g) |
|------------|-------|------|------|--------|-------|-----------------|
| 处理一 | 25.4% | 1.3% | 20.2 | 43.31% | 6.18% | 125.11 |
| 处理二 | 25.3% | 1.4% | 18.6 | 42.42% | 6.10% | 117.59 |
| 处理三 | 24.9% | 1.3% | 19.5 | 42.19% | 6.11% | 105.04 |
| 处理四 | 25.7% | 1.3% | 20.0 | 42.89% | 6.00% | 120.14 |
| 对照 | 24.3% | 1.3% | 19.2 | 41.72% | 6.24% | 102.82 |

表 28 叶面营养元素调控鲜叶主要生化成分

Table 28 The main chemical compounds of fresh leaves of on
regulations of leaves nutrient elements

| 生化成分 处理 | 茶多酚 | 氨基酸 | 酚氨比 | 水浸出物 | 可溶性总糖 | 儿茶素总量 (mg/g) |
|------------|-------|------|------|-------|-------|-----------------|
| 处理一 | 26.7% | 2.5% | 10.7 | 44.0% | 4.65% | 126.44 |
| 处理二 | 25.3% | 2.4% | 10.6 | 43.8% | 4.56% | 124.75 |
| 处理三 | 24.1% | 2.4% | 9.9 | 42.1% | 4.67% | 124.69 |
| 处理四 | 25.8% | 2.4% | 10.6 | 43.0% | 4.34% | 126.57 |
| 对照 | 24.8% | 2.3% | 10.5 | 42.6% | 4.59% | 126.14 |

3 结论与讨论

3.1 结论

3.1.1 正岩、外山鲜叶品质差异

水仙不同产地鲜叶主要生化成分含量均值中，正岩鲜叶茶多酚为 25.3%，氨基酸为 1.2%，酚氨比为 22.3，咖啡碱为 3.8%，水浸出物含量为 41.9%，可溶性总糖为 1.07%，儿茶素总量为 156.48mg/g；外山鲜叶中茶多酚为 25.8%，氨基酸为 1.8%，酚氨比为 14.7，咖啡碱为 3.8%，水浸出物为 44.6%，可溶性总糖为 1.10%，儿茶素总量为 150.31mg/g。水仙正岩、外山鲜叶品质主要生化成分均值差异，茶多酚、咖啡碱、可溶性总糖、儿茶素总量差异不显著；水浸出物差异显著；氨基酸、酚氨比差异极显著。岩茶品质不但与各生化成分总量有关，也与各成分之间的比例有关，氨基酸、酚氨比可作为提高水仙品质主要调控指标，肉桂主要生化成分不同产地规律不明显。不同品种主要调控指标不同。

3.1.2 正岩、外山土壤条件差异

在土壤化学环境各因子均值中，正岩全氮为 1.113g/kg，全磷为 0.143g/kg，全钾为 14.856g/kg，全锰为 286.72mg/kg，全锌为 98.11mg/kg，交换性钙为 538.12mg/kg，交换性镁为 35.01mg/kg，pH 值为 5.35，有机质为 1.19%；外山土壤全氮为 1.455g/kg，全磷为 0.143 g/kg，全钾为 10.079g/kg，全锰为 277.52mg/kg，全锌为 297.38mg/kg，交换性钙为 142.94mg/kg，交换性镁为 14.07mg/kg，pH 值为 4.7，有机质为 1.5%；全氮、全磷、全锰、有机质差异不明显，交换性钙差异显著水平，全钾、全锌、交换性镁、pH 值差异达极显著水平。两地土壤由于土壤母质和发育程度的不同，土壤物理环境存在较大差异，不同产地土壤条件差异较大。

3.1.3 水仙正岩、外山鲜叶营养元素差异

在鲜叶各营养元素均值中，正岩鲜叶全氮为 3.908g/kg，全磷 1.697 g/kg，全钾为 12.005g/kg，全锰为 250.86mg/kg，全锌为 29.2mg/kg，全钙为 1.37mg/kg，全镁为 106mg/kg，全硼为 16.11mg/kg；外山鲜叶全氮为 3.958g/kg，全磷为 1.823g/kg，全钾为 11.848g/kg，全锰为 353.01mg/kg，全锌为 16.87mg/kg，全钙为 1.38mg/kg，全镁为 96.53mg/kg，全硼为 19.94mg/kg。全氮、全磷、全钾、全钙、全硼均值差异不显著，全锰、全

锌、全镁差异达极显著。由于土壤条件各因子的相互作用，影响茶树对各种营养元素的吸收，各营养元素含量在鲜叶上表现出不同的趋势，全钾土壤含量差异显著，鲜叶中则差异不显著；全锰含量土壤中正岩高于外山，鲜叶中却是外山高于正岩且差异显著。因此，对外山茶园土壤营养元素的调控，并不能因为跟正岩土壤相比，有什么差异补充什么，而应根据实际情况进行调控。

3.1.4 土壤化学环境—鲜叶营养元素—品质三者关系

3.1.4.1 正岩土壤化学环境—鲜叶营养元素—品质三者关系

正岩土壤化学环境各因子对鲜叶内各营养元素含量的影响作用和程度不一样，鲜叶全锰含量与土壤全锌含量成显著正相关，鲜叶全钾含量与土壤全钾含量、鲜叶全氮含量与土壤交换性钙含量成显著负相关，即土壤全锌量越高，鲜叶全锰量也愈高，土壤全钾、交换性钙含量越高，鲜叶全钾、全氮含量越低。氨基酸与鲜叶全氮、儿茶素总量与全硼成显著正相关，酚氨比与鲜叶全氮成显著负相关，即鲜叶全氮、全硼含量越高，氨基酸、儿茶素总量也越高，酚氨比越低，其它相关系数未达显著水平。

3.1.4.2 外山土壤化学环境—鲜叶营养元素—品质三者关系

鲜叶全锌与土壤 pH 值成显著正相关，鲜叶全钙与土壤全钾成显著负相关，其它相关系数均未达到显著水平。鲜叶全磷、全钾、全锰含量与土壤全氮，鲜叶全锰、全钙、全镁含量与土壤 pH 值、鲜叶全镁含量与土壤有机质相关系数在 0.7 以上，决定系数在 0.5 左右，表明相互间仍有较大的影响。可溶性总糖与鲜叶全钾含量成显著负相关，茶多酚与全锰含量成显著正相关，其它均未达到显著水平。

3.1.4.3 正岩、外山土壤化学环境—鲜叶营养元素—品质三者关系的差异

正岩、外山土壤化学环境与鲜叶营养元素各相关系数中，鲜叶全氮与土壤交换性钙、交换性镁，鲜叶全锌与 pH 值差异显著，其它 r 值均小于临界值，因此，不同产地的交换性钙与全氮、交换性镁与全氮、pH 值与全锌三者相关系数不能合并，其余二者间相关系数经两地数据合并重新计算后，两地可共用相同的相关系数。不同产地鲜叶营养元素与品质主要生化成分各相关系数中，可溶性总糖与全氮差异显著，相关系数不能合并，其余二者间相关系数经两地数据合并后重新计算后，两地可共用相同的相

关系数。

3.1.5 土壤化学环境、鲜叶营养元素对鲜叶香气成分的影响

在武夷岩茶鲜叶各香气成分中，不同产地水仙检测出六在类 30 种物质，肉桂共检测出七大类 28 种物质，各品种醇类物质占总香气成分的 70%。不同品种鲜叶主要香气物质不同，水仙以乙醇含量最高，肉桂以橙花叔醇含量最高；在香气总量上，成正岩>半岩>外山趋势，不同品种香气总量不同，肉桂总量是水仙的 2 倍左右，种类更多；不同产地鲜叶香气成分中有相同的物质，也有独有的香气物质，且同一香气成分含量及比例不同，从而表现出不同品种及不同产地各自的香气特征。

在土壤化学环境中，水仙橙花叔醇与全钾、乙醇与 pH 值成显著正相关；鲜叶各营养元素中，3-丁烯-2-酮-4(2, 6, 6-三甲基-1-环) 与全钙、顺式-芳樟醇氧化氧、反-3, 7-二甲基-2, 6-辛二烯-1-醇与全镁成显著正相关。因此，为提高鲜叶香气成分总量，对土壤和鲜叶应采取不同的调控措施。

3.1.6 土壤营养元素调控试验

水仙土壤营养元素调控试验不同处理中，影响发芽密度主要因素是镁肥，最佳处理是处理 4；影响生长强度主要因素是钾肥，最佳处理是锰₁镁₂锌₂硼₁钾₁饼肥₂，影响标准梢重主要因素是硼肥，最佳组合是锰₁镁₁锌₂硼₁钾₁饼肥₁，试验组合不在此次正交试验实际试验组合中。对各因素变量作进一步分析表明，各因素对发芽密度、标准梢重差异不显著，钾肥对生长强度达极显著。

影响茶多酚主要因素是饼肥，最佳处理是试验组合处理 4；影响咖啡碱主要因素是饼肥，最佳处理是锰₁镁₁锌₂硼₁钾₁饼₁，不在本次试验组合中。影响氨基酸主要因素是镁肥，最佳处理是锰₁镁₁锌₁硼₁钾₁饼₂，不在本次试验组合中；影响酚氨比主要因素是镁肥，最佳处理是锰₁镁₂锌₂硼₁饼肥₁，为试验组合处理 4。影响水浸出物、可溶性总糖主要因素是钾肥，最佳组合水浸出物是锰₂镁₂锌₂硼₂钾₂饼肥₁，可溶性总糖是锰₂镁₁锌₂硼₂钾₂饼₂，试验组合都不在本次试验组合中。影响儿茶素总量主要因素是硼肥，最佳处理是锰₂镁₁锌₂硼₂钾₂饼肥₁，试验组合是试验组合处理 6。

对各因素变量作进一步分析表明,各因素中饼肥对茶多酚影响的差异显著;对氨基酸、酚氨比、水浸出物、可溶性总糖、儿茶素总量差异不显著;对咖啡碱,锌肥、硼肥、饼肥差异显著。

肉桂土壤营养元素调控试验不同施肥处理与对照相比,春茶茶多酚、氨基酸、酚氨比有大有小,水浸出物、儿茶素总量均小于对照,夏茶茶多酚、水浸出物、儿茶素总量均大于对照,氨基酸大于或等于对照,可溶性总糖不同施肥处理春夏茶均小于对照,不同处理各生化成分除夏茶氨基酸差异显著外,其它差异均不显著。

肉桂叶面不同施肥处理与对照相比,喷 0.1% 硼砂处理茶多酚、酚氨比、水浸出物小于对照,其它大于对照;不同施肥氨基酸均大于对照;喷 0.6% 硫酸锰、喷 0.2% 硼砂处理小于对照,喷 0.3% 硫酸锰、喷 0.1% 硼砂处理可溶性总糖大于对照;喷 0.6% 硫酸锰、喷 0.1% 硼砂处理儿茶素总量,喷 0.3% 硫酸锰、喷 0.2% 硼砂处理大于对照。喷施相同肥料,喷 0.3% 硫酸锰处理各主要生化成分高于喷 0.6% 硫酸锰处理的,喷 0.2% 硼砂处理的高于喷 0.1% 硼砂处理。

不同处理茶多酚、水浸出物差异达极显著,氨基酸、酚氨比、儿茶素总量、可溶性总糖差异不显著。不同处理以喷 0.3% 硫酸锰最佳,叶面喷施以 0.3% 浓度,硼元素以 0.2% 浓度为佳。

3.2 讨论

茶叶品质是茶叶色、香、味、形上的综合体现,影响乌龙茶品质主要香气和滋味。形成武夷岩茶优异品质的因素是多方面的,有适制乌龙茶的优良品种、优越的生态条件、独特的栽培措施、精湛的采制工艺、树龄及生产季节等。相同品种,在相同的生产季节和采制工艺下,由于不同的生态条件,由于鲜叶内在品质的差异,进而影响到成茶品质差异。鲜叶质量是形成武夷岩茶优异品质的基础。

对于正岩产地茶园,由于特殊地理条件和土壤母质,遮荫条件好,气候条件优越;土壤土层深厚,富钾,土壤酸度适宜,砂粒适中,利于透水和排水,水、气、肥、热协调,土壤条件优异;土壤全锌含量与鲜叶全锰含量呈显著正相关,土壤全钾含量与鲜叶全钾含量、土壤交换性钙含量与鲜叶全氮含量呈显著负相关,土壤全钾与香气物质橙花叔醇、pH 值与乙

醇成显著正相关；鲜叶全氮与氨基酸、全硼与儿茶素总量呈显著正相关。

姚月明等^[60]在竹窠不同肥料对武夷肉桂品质影响的研究表明，不同肥料以农家肥最优、其次是饼肥、客土、复合肥、单施氮肥最差，近年来为提高茶叶产量大量施用无机肥，从而导致品质下降。

因此，正岩茶园土壤施肥时，不用或少用无机肥，特别是氮肥，防止pH值降低，改变茶叶内含物的比例，导致鲜叶质量下降；以传统的“武夷耕作法”和农家肥或有机肥相结合为主，保证鲜叶质量，同时兼顾茶叶产量，提高茶叶经济效益。

对于外山产地水仙茶园，与正岩相比：

(1) 在鲜叶原料上，品质主要生化成分中，茶多酚、咖啡碱、可溶性总糖、儿茶素总量均值差异不明显；水浸出物均值差异达显著水平；氨基酸、酚氨比差异达极显著水平；香气成分总量低，尤其是在乙醇、橙花叔醇、乙酸乙酯等香气物质含量上大大低于正岩鲜叶。

(2) 在土壤化学环境上，土壤全氮、全磷、全锰、有机质含量差异不显著，全钾、交换性镁、pH值显著低于正岩，全锌显著高于正岩。

(3) 在鲜叶营养元素含量上，全氮、全磷、全钾、全钙、全硼含量差异不显著，全锰显著高于正岩，全锌、全镁显著低于正岩。

由于土壤条件各因子的相互作用，全钾、全锰、全锌含量从土壤到鲜叶发生不同的变化，全锰土壤含量外山低于正岩，鲜叶含量则是外山显著高于正岩，全锌正好相反，全钾差异不显著。因此，对外山茶园土壤条件的调控，可采取以下措施：

首先，通过施用白云石粉提高土壤pH值，降低两地差异，提高香气物质乙醇含量；其次适当重施有机肥，缓解土壤酸化，改善土壤物理环境，使土壤水、肥、气、热协调，增加茶叶内含物的含量，提高茶叶产量；第三，在平衡施肥的同时，适当增施钾肥、通过叶面补充镁肥、锌肥，不施锰肥，增加鲜叶镁含量，提高橙花叔醇、顺式—芳樟醇氧化物香气物质含量。

其次，由于正岩特殊的地理条件，生态环境奇异，两侧被高崖削壁所夹，削壁之高常数倍于谷宽，崖脚渗水环流谷底，一般峡长，幽深，曲折，宽窄不等，谷向多为东东北或东东南，背西向东之走向，岩坑谷的微域气

候表现优越，外山气候条件无论是光质还是水热条件均比不上正岩，通过种植遮荫树，土壤覆盖等措施，减少光照强度，改善光质，提高相对湿度，增加漫射光，改善茶园小气候条件。

通过采取综合措施，为茶树生长提供良好的生态条件，提高茶叶主要生化成分的含量及橙花叔醇、乙醇、芳樟醇氧化物等香气物质，从而使茶叶香高味浓，“岩韵”明显。

附表 1

不同产地水仙鲜叶香气成分表

| 序号 | 化合物 | 牛栏坑 (正岩) | | 水帘洞 (正岩) | | 流香涧 (正岩) | | 江墘 (半岩) | | 前兰知青 点(半岩) | | 白岩 (半岩) | | 枫坡 (外山) | | 井水 (外山) | |
|----|------------------|-------------|-------|-------------|------|-------------|------|------------|------|---------------|------|------------|------|------------|------|------------|------|
| | | 0.09 | 0.05 | 5.55 | 2.78 | 2.72 | 2.65 | 1.28 | 2.13 | 0.04 | 0.09 | 0.05 | 0.09 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | |
| 1 | α-法尼烯 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 己烯 | | | | | | | | | | | | | | | | 0.01 |
| 3 | 乙醇 | | | | | | | | | | | | | | | | 0.38 |
| 4 | 3-甲基-2-丁醇 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 1-戊烯醇 | 0.12 | 0.11 | 0.10 | 0.10 | 0.12 | | | | | 0.12 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.07 | |
| 6 | 1-戊烯-3-醇 | | | | | | | | | | | | | | | 0.11 | 0.05 |
| 7 | 正-2-戊烯-1-醇 | 0.11 | | | | | | 0.11 | | | | | | | | | |
| 8 | 反-2-己烯-1-醇 | | 0.11 | 0.12 | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 3-己烯-1-醇 | 0.20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 反-3-己烯-1-醇 | 0.05 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 壬醇 | | 0.22* | 0.15* | 0.15 | | | | | | | | | | | 0.08* | |
| 12 | 顺式-芳樟醇氧化物 | 0.16 | 0.23 | 0.17 | 0.15 | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 反式-芳樟醇氧化物 | 0.23 | 0.36 | 0.34 | 0.26 | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 芳樟醇氧化物 | 0.39 | 0.59 | 0.51 | 0.41 | 0.20 | 0.14 | | | | | | | | | | |
| 15 | 3,7-二甲基-6-辛烯-1-醇 | | 0.15 | 1.51 | 0.94 | 1.08 | 0.75 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 1.10 | 0.70 | | | | | |
| | 芳樟醇 | | | | | | | | | | | | | | | | |

表前緒

不同产地水仙鲜叶香气成分表

附表 2 不同产地肉桂鲜叶香气成分表

| 序号 | 名称 | 水帘洞 (正岩) | 倒水坑 (正岩) | 枫树湾 (半岩) | 黄土 (外山) |
|----|----------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| 1 | α-法呢烯 | 0.4 | 2.16 | 0.14 | 0.42 |
| 2 | 乙醇 | 5.83 | 0.66 | 4.23 | 0.26 |
| 3 | 3-甲基-2-丁醇 | | | 0.27 | |
| 4 | 环戊醇 | | | | 0.55 |
| 5 | 2-戊烯-1-醇 | | | | 0.61 |
| 6 | 3-己烯-1-醇 | | | | 0.64 |
| 7 | 2-己醇 | 1.58 | | | |
| 8 | 反式-芳樟醇氧化物 | 3.05 | 0.29 | 0.18 | 0.60 |
| 9 | 顺式-芳樟醇氧化物 | 0.21 | | 0.20 | 0.58 |
| 10 | 芳樟醇 | 1.07 | 1.08 | 3.45 | 0.61 |
| 11 | 香叶醇 | 1.01 | 0.88 | 3.29 | 0.60 |
| 12 | 苯甲醇 | 0.67 | 1.07 | | |
| 13 | 2, 6-二甲基-3, 7-辛二烯-2, 6-二醇 | 1.12 | | | |
| 14 | 橙花叔醇 | 2.01 | 10.39 | 9.41 | 7.92 |
| 15 | 植醇 | | | 1.29 | |
| 16 | 2, 4-戊二醇 | 1.68 | | | |
| 17 | 戊醇 | | 0.21 | | |
| 18 | 1-戊醇 | | 0.64 | | |
| 19 | 丁醛 | | | | 0.18 |
| 20 | 3-甲基丁醛 | | 0.81 | | |
| 21 | 水扬酸甲酯 | | | 0.21 | 0.48 |
| 22 | 1-(1H-吡咯-2-基)酮 | 0.5 | | | |
| 23 | 3-丁烯-2-酮, 4(2,6,6-三甲基-1-环) | | | 0.40 | 0.47 |
| 24 | 乙酸乙酯 | 2.56 | 0.04 | 0.99 | 0.01 |
| 25 | 乙酸 | 3.10 | | 0.30 | |
| 26 | 十四酸 | 0.94 | | | |
| 27 | 棕榈酸 | | 3.23 | | |
| 28 | 吲哚 | | 3.07 | | |
| | 总量 | 25.73 | 24.53 | 24.36 | 13.93 |

附表 3

土壤条件与鲜叶香气成分的相关系数

| 香气成分 | α -法尼烯 | 乙醇 | 1-戊烯-1-醇 | 2-己烯-1-醇 | 顺式-樟脑氧化物 | 反式-芳樟醇氧化物 | 芳樟醇氧化物 | 3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇 | 橙花叔醇 | 香叶醇 | 苯甲醇 | 3-丁烯-2-酮 | 4-(2,6,6-三甲基-1-环) | 乙酸乙酯 | 水杨酸乙酯 | 乙酸 | 乙酸乙酯 |
|------|---------------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|---------------------|----------|---------|---------|----------|-------------------|----------|----------|----|------|
| 全氮 | 0.690 | 0.4822 | 0.3459 | 0.2134 | 0.4915 | 0.1019 | -0.02991 | 0.7848* | 0.7848* | 0.5093 | 0.3393 | -0.0874 | 0.7303 | 0.1196 | 0.4066 | | |
| 全钾 | 0.7284 | 0.7424 | 0.4812 | 0.58 | 0.5474 | 0.6376 | 0.5314 | 0.6724 | 0.6724 | 0.7698* | 0.3523 | -0.5145 | 0.4147 | -0.04982 | 0.3984 | | |
| 全镁 | -0.2007 | -0.05858 | -0.7502 | -0.7697* | 0.09008 | -0.6047 | 0.0668 | 0.2502 | 0.2502 | -0.1229 | 0.2621 | 0.2696 | 0.368 | 0.1454 | -0.4156 | | |
| 全锌 | -0.3533 | -0.8363* | -0.7244 | -0.5336 | -0.252 | -0.7936 | -0.7631* | -0.2618 | -0.2618 | -0.437 | 0.08749 | 0.6270 | -0.797 | -0.1121 | -0.6408 | | |
| 换性钙 | 0.1863 | 0.6883 | 0.3138 | -0.00846 | 0.5465 | 0.4474 | 0.6749 | 0.597 | 0.597 | 0.6192 | 0.4932 | -0.6314 | 0.6751 | 0.7034 | 0.6798 | | |
| 换性镁 | 0.1569 | 0.5521 | 0.1316 | -0.08134 | 0.3768 | 0.4597 | 0.5718 | 0.4609 | 0.4609 | 0.4337 | 0.2926 | -0.344 | 0.5259 | 0.6388 | 0.4841 | | |
| pH | 0.2841 | 0.8401* | 0.2444 | -0.02522 | 0.5351 | 0.3645 | 0.645 | 0.6786 | 0.6786 | 0.5889 | 0.4251 | -0.4867 | 0.7845 | 0.4734 | 0.5302 | | |
| 有机质 | -0.4015 | -0.2077 | -0.5158 | -0.30751 | -0.02459 | -0.4545 | -0.08806 | -0.04417 | -0.04417 | -0.465 | 0.01174 | 0.3298 | -0.03717 | -0.8685* | -0.8215* | | |

注：自由度 df=3 时，r 的临界值 $t_{0.05}=0.878$; df=4 时， $t_{0.05}=0.811$; df=5 时， $t_{0.05}=0.754$; df=6 时， $t_{0.05}=0.707$ 。

附表4 鲜叶营养元素与香气成分的相关系数

| 营养元素 | 鲜叶营养元素与香气成分的相关系数 | | | | | | | | | | | | | |
|------|------------------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|-----------------|---------|----------|---------|----------|---------|-----------------|
| | -法尼 烯 | 乙醇 | 1-戊烯 | 2-己烯 | 顺式-芳樟 | 反式-芳樟 | 芳樟醇 | 3, 7-二甲基 氧化物 | 香叶醇 | 橙花叔 醇 | 苯甲醛 | 3-丁烯-2-酮 | 水杨酸 | 乙酸乙乙酸 酯 |
| 全氮 | -0.477 | -0.1911 | -0.4435 | -0.3619 | -0.6525 | -0.3282 | 0.01103 | -0.03136 | -0.6795 | -0.6428 | -0.7532 | 0.4356 | -0.5345 | -0.3161 -0.6571 |
| 全磷 | -0.0723 | -0.3383 | -0.1625 | -0.2095 | -0.7734* | -0.167 | -0.3004 | 0.1582 | -0.7344 | -0.3092 | -0.7455 | 0.5024 | 0.5233 | -0.5353 0.05096 |
| 全钾 | -0.3551 | 0.1684 | 0.3012 | 0.05761 | 0.5428 | 0.1377 | 0.3254 | 0.2113 | 0.3262 | 0.05249 | 0.4931 | -0.6306 | -0.1617 | 0.4958 0.3523 |
| 全镁 | -0.3848 | -0.6488 | -0.5379 | -0.4955 | -0.7286 | -0.3766 | -0.3803 | 0.2256 | -0.7454 | -0.5837 | -0.5701 | 0.6502 | 0.3129 | -0.6365 -0.5630 |
| 全锌 | 0.1995 | 0.5454 | 0.5686 | 0.5371 | 0.7023 | 0.7128 | 0.6138 | 0.0603 | 0.5987 | -0.5837 | 0.5152 | -0.7648* | -0.2238 | 0.5832 0.5044 |
| 全钙 | -0.1629 | -0.4305 | -0.3882 | -0.5346 | -0.5709 | -0.7602 | -0.6945 | -0.1904 | -0.4398 | 0.4581 | -0.4843 | 0.8556* | 0.4192 | -0.2454 -0.1881 |
| 全镁 | 0.2826 | 0.3837 | 0.2047 | 0.3054 | 0.8295* | 0.1508 | 0.2116 | -0.2086 | 0.8457* | -0.3277 | 0.8158 | -0.4654 | -0.4592 | 0.5018 0.02406 |
| 全磷 | 0.4908 | 0.3718 | 0.3021 | -0.1686 | -0.2853 | -0.3647 | -0.3265 | -0.5831 | 0.03838 | 0.1680 | -0.4165 | 0.1627 | 0.6516 | 0.4745 0.4867 |

注：自由度 df=3 时，r 的临界值 $t_{0.05}=0.878$; df=4 时， $t_{0.05}=0.811$; df=5 时， $t_{0.05}=0.754$; df=6 时， $t_{0.05}=0.707$ 。

附表 5 肉桂土壤营养元素调控春茶鲜叶主要生化成分含量

| 生化成分 处理 | 茶多酚 | 氨基酸 | 酚氨比 | 水浸出物 | 可溶性总糖 | 儿茶素总量 (mg/g) |
|-------------|-----|-------|------|------|-------|-----------------|
| 重 复 一 | 处理一 | 29.4% | 2.1% | 14.3 | 44.6% | 4.40% |
| | 处理二 | 28.8% | 2.0% | 14.4 | 44.0% | 4.22% |
| | 处理三 | 30.2% | 2.3% | 13.2 | 44.4% | 3.90% |
| | 处理四 | 30.6% | 2.0% | 15.1 | 45.3% | 4.21% |
| 重 复 二 | 对照 | 28.4% | 2.3% | 12.6 | 45.5% | 4.53% |
| | 处理一 | 29.4% | 1.7% | 17.0 | 44.5% | 3.78% |
| | 处理二 | 25.8% | 1.7% | 15.0 | 41.9% | 4.42% |
| | 处理三 | 28.1% | 1.9% | 14.6 | 43.6% | 3.82% |
| 重 复 三 | 处理四 | 25.4% | 1.7% | 15.0 | 41.7% | 4.59% |
| | 对照 | 28.8% | 1.9% | 14.8 | 45.0% | 3.66% |
| | 处理一 | 29.9% | 2.0% | 14.8 | 45.5% | 4.37% |
| | 处理二 | 28.6% | 2.0% | 14.6 | 44.1% | 4.29% |
| 重 复 四 | 处理三 | 29.3% | 2.0% | 14.5 | 45.2% | 3.75% |
| | 处理四 | 29.6% | 2.2% | 13.2 | 45.4% | 4.17% |
| | 对照 | 29.1% | 1.8% | 15.8 | 45.3% | 4.97% |
| | | | | | | 145.88 |

肉桂土壤营养元素调控夏茶鲜叶主要生化成分含量

| 生化成分 处理 | 茶多酚 | 氨基酸 | 酚氨比 | 水浸出物 | 可溶性总糖 | 儿茶素总量 (mg/g) |
|-------------|-----|-------|------|------|-------|-----------------|
| 重 复 一 | 处理一 | 26.6% | 1.2% | 21.9 | 45.3% | 5.56% |
| | 处理二 | 26.2% | 1.3% | 19.6 | 43.1% | 5.99% |
| | 处理三 | 26.9% | 1.2% | 21.5 | 42.9% | 6.12% |
| | 处理四 | 27.8% | 1.2% | 23.0 | 45.0% | 5.98% |
| 重 复 二 | 对照 | 26.3% | 1.2% | 22.0 | 42.4% | 6.08% |
| | 处理一 | 22.4% | 1.3% | 17.1 | 41.7% | 6.46% |
| | 处理二 | 23.6% | 1.4% | 16.5 | 41.7% | 6.42% |
| | 处理三 | 23.4% | 1.3% | 17.5 | 42.0% | 6.47% |
| 重 复 三 | 处理四 | 21.7% | 1.3% | 16.7 | 40.3% | 6.09% |
| | 对照 | 21.1% | 1.3% | 16.4 | 40.1% | 6.60% |
| | 处理一 | 27.2% | 1.2% | 21.8 | 42.9% | 6.53% |
| | 处理二 | 26.1% | 1.3% | 19.8 | 42.6% | 5.88% |
| 重 复 四 | 处理三 | 24.5% | 1.3% | 19.8 | 41.7% | 5.76% |
| | 处理四 | 27.5% | 1.3% | 20.4 | 43.4% | 5.93% |
| | 对照 | 25.4% | 1.3% | 19.4 | 42.6% | 6.05% |
| | | | | | | 110.22 |

续前表 肉桂叶面营养元素调控春茶鲜叶主要生化成分含量

| 生化成分 处理 | 茶多酚 | 氨基酸 | 酚氨比 | 水浸出物 | 可溶性总糖 | 儿茶素总量 (mg/g) |
|------------|-----|-------|------|------|-------|-----------------|
| 重复一 | 处理一 | 27.0% | 2.5% | 10.6 | 44.3% | 4.19% |
| | 处理二 | 25.9% | 2.4% | 10.9 | 45.0% | 4.48% |
| | 处理三 | 25.0% | 2.5% | 9.8 | 42.9% | 4.51% |
| | 处理四 | 26.9% | 2.4% | 11.0 | 44.0% | 4.35% |
| 重复二 | 对照 | 25.4% | 2.4% | 10.5 | 43.5% | 4.32% |
| | 处理一 | 27.1% | 2.5% | 10.9 | 44.2% | 4.54% |
| | 处理二 | 24.5% | 2.3% | 10.6 | 42.7% | 4.30% |
| | 处理三 | 23.2% | 2.3% | 9.9 | 41.8% | 4.83% |
| 重复三 | 处理四 | 25.3% | 2.4% | 10.6 | 42.7% | 4.06% |
| | 对照 | 24.5% | 2.2% | 11.0 | 42.3% | 4.71% |
| | 处理一 | 25.9% | 2.5% | 10.5 | 43.5% | 5.22% |
| | 处理二 | 25.2% | 2.5% | 10.2 | 43.7% | 4.90% |
| 重复四 | 处理三 | 23.9% | 2.4% | 10.1 | 41.8% | 4.67% |
| | 处理四 | 24.5% | 2.4% | 10.0 | 42.3% | 4.62% |
| | 对照 | 24.5% | 2.4% | 10.0 | 42.1% | 4.75% |
| | | | | | | 123.45 |

参考文献

- 1.段建真, 郭素英. 我国茶树生态研究的进展. 茶业通报. 1995, (1): 4—6
- 2.田永辉, 梁远发等. 茶园土壤物理性状对茶叶品质的影响研究. 蚕桑茶叶通讯.2000, (3:) 14—16
- 3.浙江农业大学主编.茶树栽培学(第二版).农业出版社.1996
- 4.顾干卿, 钟士传, 高克炳. 土壤养分含量与茶叶品质关系的研究. 茶业通报. 1989, (4): 13—14
- 5.李以暖, 王凯荣.茶叶品质与环境地质关系的探讨.茶叶.1995, (2): 5—8
- 6.王效举, 陈鸿昭.三峡地区茶园土壤化学特征与茶叶品质的关系. 植物生态学报. 1994, (3): 253—260
- 7.苏年华,王玉 .土壤营养元素对铁观音优质高产效应的研究.福建茶叶.1989, (2): 22—26
- 8.方玲, 伊仁青, 张庆孝等.不同母质的土壤对乌龙茶生化品质的影响.福建农业大学学报.1999, (4): 461—465
- 9.杨秀芳. 从生化角度谈提高茶叶品质. 福建茶叶. 1997, (2): 34—37
10. 黄寿波.我国茶树气象研究进展(综述).浙江农业大学学报.1985, (1): 87-96
- 11.赵和涛. 茶园生态环境对红茶芳香物质及品质影响. 生态学杂志. 1992, (5): 59-61
- 12.用卫星图象研究茶产地环境与品质间的关系.日本作物学会纪事. 1999, (3): 424—434
13. 陈春成.不同海拔高度对山地茶叶生产的影响.福建林业科技.2000, (4): 67-68, 77
14. 福建省农科院茶叶研究所土肥室.武夷岩茶及其土壤调查总结报告. 茶叶科学简报. 84, (1): 2-6
15. 福建省农科院茶叶研究所土肥室.武夷岩茶及其土壤调查总结报告. 茶叶科学简报. 84, (2): 1-5
- 16.张文锦.鲜叶氮、磷、钾含量对乌龙茶品质关系的研究.福建茶叶.1992, (3): 16-19, 10
- 17.罗涉华.茶叶品质与施肥.福建茶叶.1994, (2): 24-27

- 18.张春兰,朱建检,尹天水.鸡类颗粒对茶叶产量和品质的影响.1996,(2): 21-23
- 19.董尚胜,骆耀平,吴俊杰等.遮荫、有机肥对夏茶时片内醇系香气生成的影响.茶叶科学.2000,(2):133—136
- 20.丁磊.茶树专用生物活性有机肥肥效试验.中国茶叶.2000,(4): 36-37
- 21.黄意欢,萧力争.茶树营养生理与土壤管理.湖南科学技术出版社,1992
- 22.阮建云,吴润,Hardter K. 钾和镁对乌龙茶产量和品质的影响.茶叶科学.1997,(1): 9-13
- 23.吴润.茶树钾营养与病虫害.福建茶叶.1999,(4): 4
- 24.施嘉璠.茶树矿质的供应.福建茶叶.1999,(1): 2-4
- 25.莫治雄.茶树微量元素营养研究综述.广东茶叶.1995,(1): 6-14
- 26.彭福元.茶树施用镁肥的效应及其影响因素.广东茶叶.1998,(1): 25-27
- 27.吴润.茶树对硫的需求和施用含硫肥料的效果.福建茶叶.1999,(3): 13-15
- 28.吴润.几种茶园常见的叶肥.中国茶叶.1999,(5): 40
- 29.钱利生.稀土元素与茶树和高产优质.福建茶叶.1994,(3): 18-21
- 30.王锐清.综述稀土在茶树上的应用研究.中国茶叶.1994,(1): 5-7
- 31.魏国雄,张其生,代彩云.茶园施用稀土的研究报告.茶业通报.1992,(2): 13-16
- 32.曾跃辉.谈谈茶树微量元素的营养.茶业通讯.1990,(1): 37-40
- 33.韩文炎,许允文,伍炳华.锌对茶树生长和生理效应.茶叶科学.1994,(1): 23-29
- 34.林心炯,郭专,周庆惠等.施肥对乌龙茶产量品质的影响.茶叶科学.1991,(2): 109-116
- 35.张文锦,陈常颂,杨如兴.铁观音肥料主效因子的研究.福建茶叶.2001,(3): 7-9
- 36.陈椽.中国名优茶选集.安徽科学技术委员会、安徽农学院.安徽. 85
- 37.林心炯,李元钦,吴静如.武夷岩茶品质与生态环境初步的研究.茶叶科学简报.86,(1): 25-28
- 38.钟兴松.武夷岩茶优异品质成因的探讨.茶叶科学技术.1995,(2): 26-31
- 39.姚月明.形成武夷岩茶特征的相关因子.福建茶叶.1997,(3): 25-26
- 40.陈德华.影响武夷岩茶品质的因素和提高措施.福建茶叶.1997,(3):

22-24

- 41.陈泉宾,孙威江.武夷岩茶品质影响因素的研究现状.福建茶叶.2003,(3): 44-46
- 42.李文,邓荣华.武夷肉桂酚氯比与气象条件关系初探.福建茶叶.1998,(2): 19-21
- 43.冯卫虎.武夷岩茶“岩韵”形成的体会.福建茶叶.2000,(4): 43
- 44.黄建安,施兆鹏,施英等.乌龙茶“岩韵”与“音韵”的感官体验及化学特征.湖南农业大学学报.2003,(2): 134-136
- 45.林心炯.福建茶园土壤.福建省农业科学院茶叶研究所
- 46.中国农业科学院茶叶研究所编.茶树生理及茶叶生化实验手册.农业出版社.1983
- 47.中国农业科学院南京土壤研究所.土壤理化分析.上海科学技术出版社.1978.1
- 48.南京农学院主编.土壤农化分析.农业出版社.1980.12
- 49.中国进出口商品检验总局编.成品茶检验.中国财经出版社,1981
- 50.盛骤,谢士干等编.概率论与数理统计(第二版).高等教育出版社.1989
- 51.盖钧镒主编.试验统计学.中国农业出版社.2000
- 52.陈宗道,周才琼,童华荣.茶叶化学工程学.重庆.西南师范大学出版社.1999
- 53.李名君.茶叶香气研究进展.国外农学—茶叶.1984,(4): 1-15; 1985,(1): 1-8
- 54.钟萝主编.茶叶品质理化分析.上海科学技术出版社.1989.12
- 55.王欢,张振民.影响茶叶香气的几种因素.福建茶叶.1997,(3): 16-22
- 56.竹尾忠一.乌龙茶的香气特征.国外农学—茶叶.1984,(4): 16-22
- 57.陈荣冰,张方舟,黄福平等.丹桂与名优乌龙茶品种香气特征比较.茶叶科学.1998,(2): 113-118)
- 58.骆少君,濮荷娟,郭雯飞.不同品种乌龙茶香气的特征及其与品质等级的相关性.福建茶叶.1987,(2): 11-20
- 59.吴秋儿.福建乌龙茶香气特征的比较.福建农学院学报.1989,(1): 62-66
- 60.姚月明,陈永霖.不同肥料对武夷肉桂品质影响的研究.福建茶叶.1989,(1): 31-34

致 谢

本研究是在导师孙威江副教授的悉心指导下完成，从论文的选题、研究方案的制定、研究工作的进展和论文的撰写，无一不倾注着导师的心血和汗水，导师敏锐的学术思想、严谨的治学态度、渊博的知识和谆谆教诲令学生受益非浅，在此谨致以真挚的感谢和敬意。

同时要感谢茶学教研室杨江帆老师、金心怡老师、吉克温老师、郭雅玲老师、孙云老师在论文的选题和试验的设计提出了许多宝贵的意见，在此一并表示感谢。

除此之外，感谢林莲珍老师、袁地顺老师、99 级茶学林艳玲、董艳冰、郑思及 2000 级陈笛、郑凤、胡秀娟同学在本人学习和试验过程中的大力支持和帮助。在试验的取样过程中，感谢得到福建农林大学周性墩老师、武夷山陈德华、刘国英、游洪忠、谢火旺等人的帮助，在此一并表示感谢。