

江 浙

典型茶园地理特征指标空间测度

Spatial Measurement of Geographical Features Index of
Typical Tea Plantations in Jiangsu and Zhejiang

○ 方 斌 董立宽 阚博颖 著

非 外 借



科学出版社

江浙典型茶园地理特征 指标空间测度

方 斌 董立宽 阚博颖 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书借助 SPSS、GS+、ArcGIS 等软件的相关功能,探讨了江浙地区茶园地理特征指标空间分布特征。主要方法包括描述性统计分析、相关性分析、地统计学分析、耦合性分析以及标准差椭圆分析等。研究结果表明江浙地区茶园各养分含量整体水平较高,重金属含量水平基本符合绿色标准;但各指标表现出明显的空间异质性,并彼此相关,土壤和茶叶因子间耦合度较高。

本书可为农学、生态学及土地资源管理专业人士及农业、环境等政府管理人员提供理论指导和参考依据。

图书在版编目(CIP)数据

江浙典型茶园地理特征指标空间测度/方斌,董立宽,阚博颖著. —北京:科学出版社, 2017.3

ISBN 978-7-03-051765-4

I. ①江… II. ①方… ②董… ③阚… III. ①茶园-地理环境-研究-江苏②茶园-地理环境-研究-浙江 IV. ①S571.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 027045 号

责任编辑:周 丹 郑 昕 沈 旭/责任校对:钟 洋

责任印制:张 伟/封面设计:许 瑞

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京建宏印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年3月第一版 开本:720×1000 1/16

2017年3月第一次印刷 印张:19

字数:383 000

定价:99.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

我国农产品质量事件时有发生，引发了人们对农产品安全的质疑，如何较大幅度提升我国农产品的安全可信度成为亟待解决的重要问题。研究优质农产品的地理特征标志，不仅可以提出产品的品质标准，还可以指导农产品质量的提升方向。而农产品优质性的形成与地理背景、生态环境状况、历史渊源等因素有着十分密切的关联，深入揭示农产品品质与地理环境关系的理论，能有针对性地保护和适当调控农产品的生长环境，维护、改善甚至逐步提升农产品品质。在此基础上构建具有我国特色的优质农产品品质评价标准将更具说服力，也更能巩固和提升我国农产品品牌的国际地位和质量话语权。

茶叶既是重要的经济作物，又是重要的饮品，而且具有典型地理性，对其进行研究显然具有十分重要的意义：①历史悠久，种类丰富，覆盖面积广，具有典型普识性特征；②茶叶质量状况与地理指标特征关系紧密，具有典型地理属性；③茶叶价值高、价格波动大，又是区域经济和农民收入增长的重要影响因素。基于此，本书以江浙两省优质名茶茶园为例，借助 SPSS、GS+、ArcGIS 等软件的相关分析功能，对江浙地区茶园的地理特征指标进行测度，主要结论如下：

（1）描述性统计分析表明：江苏省茶园土壤 pH 处于适宜茶叶种植的水平，而浙江省茶园土壤 pH 处于最适宜茶叶种植的水平。江浙地区茶园土壤养分整体供给水平及叶片养分整体富集水平均较高，其中土壤养分供给整体水平浙江省高于江苏省，但变异水平也较大；茶叶有机质及速效氮富集水平浙江省高于江苏省，而速效磷及速效钾富集水平江苏省高于浙江省，但江苏省茶园养分含量整体变异水平大于浙江省。江浙地区茶园土壤重金属污染整体状况良好，除土壤锌在整体水平上存在一定程度的污染外，其他整体水平均在标准限值范围内，未造成污染。就锌元素本身而言，其含量高对人体是有益的，但过高也需适当控制，防止对人体产生危害。除茶叶叶片有机质含量变异整体水平小于 1%，属于弱变异水平外，江浙地区茶园土壤-叶片各要素指标含量的变异水平均在 10%~100%之间，属于中等强度变异水平。总体而言，江浙地区茶园土壤-叶片养分含量整体水平较高，重金属含量水平较低，茶叶整体质量较优。但由于变异系数受人为影响程度较大，因此，仍然需要进一步建立健全茶园规范化管理，提高因地制宜的水平及各元素的利用效率。

（2）相关关系分析表明：土壤要素之间、茶叶要素之间以及土壤与茶叶要素

之间均存在一定的相互作用。土壤系统中,土壤硒最活跃,与土壤 pH、有机质、铜、锌、镉、砷等均表现出显著的相关关系。茶叶系统中,叶片砷最活跃,与叶片有机质、速效磷、铜、镉等均表现出显著相关关系。土壤-叶片系统中,由于叶片对土壤各营养元素及重金属的吸收具有选择性特征,因而在含量上并没有表现出较强的显著性相关关系。

(3) 变异函数分析表明:研究区土壤-叶片各要素指标变量本身存在着因采样误差、短距离变异、随机和固有变异等引起的各种正基底效应。江浙地区茶园土壤-叶片各要素指标空间分布既受结构性因子的影响又受到随机性因子的影响。就江浙地区茶园土壤-叶片各要素的整体水平而言,由采样误差、施肥管理等随机因素引起的变异较小,而由土壤母质、地形地貌、土壤类型等结构性因素引起的变异较大。江苏省土壤-叶片的各要素指标均表现为相对较大尺度上的空间自相关性,浙江省则表现为相对较小尺度上的空间自相关性,这主要与江苏省研究区茶园相对浙江省地势较为平缓有关。

(4) Kriging/IDW 插值分析表明:江浙地区土壤-叶片各要素指标的空间分布均呈现出相连成片的共性,但又各具形态。居民点、交通道路等人为影响较大的区域及其附近有机质及速效养分含量普遍偏低,而重金属含量普遍偏高。浙江省土壤有机质及速效养分含量整体上较江苏省更高;但茶叶养分的区域性差异特征并不明显,其中江苏省天目湖及浙江省溪龙乡茶叶有机质和速效氮含量整体上较江苏省东山镇和浙江省龙井村更高,而浙江省溪龙乡茶叶速效磷及速效钾含量整体上较其他三个研究区茶叶明显要低。江浙地区茶园重金属含量整体水平均在相关标准限值范围内,基本符合茶叶质量安全标准,但都存在局部异常或突变的情况。

(5) 耦合性分析表明:江浙地区茶园土壤-叶片各要素整体水平耦合度均较高。其中,仅东山镇要素砷和龙井村要素铜属于磨合阶段;其他各要素属于高水平耦合阶段。就研究区要素综合水平而言,江浙地区四个研究区要素耦合水平由高到低依次为溪龙乡>天目湖>龙井村>东山镇。江浙地区土壤-叶片要素耦合协调度整体水平也较高。除东山镇要素镉、砷的耦合协调强度为中度协调,其余要素均为高度协调或极度协调。就研究区要素综合水平而言,其要素综合耦合协调度水平由高到低依次为溪龙乡>天目湖>龙井村>东山镇。高耦合性也体现出该区域土壤要素与叶片要素间确实存在较强的关联性。

(6) 标准差椭圆分析表明:江浙地区茶园土壤-叶片各要素标准差椭圆耦合度整体水平均较高,说明茶叶整体品质状况与茶园土壤整体质量状况密切相关。同一研究区要素标准差椭圆整体分布情况比较相似,但不同研究区要素标准差椭圆相差较大,说明地形地貌特征、采样点布设等对标准差椭圆的特征具有重要影响。由土壤-叶片要素标准差椭圆短轴与长轴比值可知,天目湖、东山镇及龙井村

研究区茶园要素在空间分布上均表现出明显的趋势性，而溪龙乡研究区茶园要素空间分布的趋势性则较弱。由标准差椭圆主轴方位角可知，除东山镇茶园要素空间分布在南北方向上的差异较东西方向上的差异更大外，其他三个研究区要素空间分布均为在东西方向上的差异较南北方向上的差异更大。因此农户应结合茶园土壤及茶叶的实际状况，因地制宜地制定茶园经营管理策略。

受技术、时间等因素的影响，本书仍存在一些有待改进的地方。在广度上，还可以考虑时间因素，进行动态分析；在深度上，还可以对土壤进行分层研究，对茶树其他组织进行分类研究等；在内容上，还可以对农户茶园经济效益进行研究分析等。

本书的成果得到了国家自然科学基金项目——“优质农产品地理特征指标的测度研究——以江浙地区优质茶叶为例（41271189）”“县域土地利用格局‘三生’融合模式研究——以江浙两省为例（41671174）”的大力支持；同时，本书的出版还得到了“江苏高校优势学科建设工程资助项目”的经费支持，在此致以诚挚的谢意！此外，本书的完成还要感谢徐云鹤、蔡燕培、祁欣欣、施龙博、吕庆玉、崔继昌、杨惠、李雪、周俊彦、王晨歌、邢璐平等同学，他们的辛勤劳动也为本书的顺利完成创造了良好的条件！

方 斌

2016年12月9日

于南京师范大学

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 茶园地理特征指标测度研究背景	1
1.2 茶园地理特征指标测度研究意义	2
1.3 茶园地理特征指标测度研究进展	2
1.3.1 茶园土壤性状研究进展	2
1.3.2 茶叶品质指标研究进展	10
第 2 章 相关概念与理论基础	17
2.1 相关概念	17
2.1.1 地理特征	17
2.1.2 地理特征指标	19
2.2 理论基础	21
2.2.1 土壤肥力理论	21
2.2.2 区位理论	24
2.2.3 复合生态系统理论	28
2.2.4 可持续发展理论	32
2.2.5 农业经济理论	36
第 3 章 研究区概况	43
3.1 江浙地区自然地理特征	43
3.1.1 江苏省溧阳市天目湖镇自然地理状况	43
3.1.2 江苏省苏州市东山镇自然地理概况	43
3.1.3 浙江省杭州市龙井村自然地理状况	44
3.1.4 浙江省安吉县溪龙乡自然地理状况	45
3.2 江浙地区经济社会发展现状	45
3.2.1 江苏省溧阳市社会经济状况	45
3.2.2 江苏省苏州市吴中区社会经济状况	51
3.2.3 浙江省杭州市社会经济状况	52
3.2.4 浙江省安吉县社会经济状况	56
3.3 江浙地区茶园经营管理现状	61

3.3.1	江浙地区茶园生产水平	61
3.3.2	江浙地区茶园销售水平	63
3.3.3	江浙地区茶园产业政策	63
3.3.4	江浙地区茶园发展前瞻	64
第4章	基础数据与研究方法	66
4.1	数据类型	66
4.2	数据获取与分析	66
4.2.1	地理特征指标数据的获取与分析	66
4.2.2	非地理特征指标数据的获取与分析	74
4.3	研究方法	74
4.3.1	SPSS 统计学分析	74
4.3.2	GS+变异函数分析	74
4.3.3	ArcGIS 空间插值预测分析	74
4.3.4	土壤-叶片要素耦合性分析	74
4.3.5	土壤-叶片要素标准差椭圆分析	75
第5章	江浙地区茶园土壤指标测度研究	76
5.1	江浙地区茶园土壤指标统计特征分析	76
5.1.1	茶园土壤基本性质	76
5.1.2	土壤营养元素指标统计特征分析	76
5.1.3	土壤重金属元素指标统计特征分析	82
5.2	江浙地区茶园土壤指标相关性分析	91
5.2.1	相关分析的基本原理	91
5.2.2	江浙地区茶园土壤指标相关性分析	93
5.3	江浙地区茶园土壤指标空间分异分析	95
5.3.1	地统计法	95
5.3.2	江浙地区典型茶园土壤指标空间分异	103
5.3.3	江浙地区茶园土壤指标空间分异分析	124
第6章	江浙地区茶园叶片指标测度研究	142
6.1	江浙地区茶园叶片指标统计特征分析	142
6.1.1	叶片基本性质	142
6.1.2	叶片营养元素指标统计特征分析	142
6.1.3	叶片重金属元素指标统计特征分析	147
6.2	江浙地区茶园叶片指标相关性分析	153
6.3	江浙地区茶园叶片指标空间分异分析	156
6.3.1	江浙地区典型茶园叶片指标空间分异	156

6.3.2 江浙地区茶园叶片指标空间分异分析	179
第 7 章 江浙地区茶园土壤质量-叶片元素耦合性分析	199
7.1 江浙地区茶园土壤-叶片元素相关性分析	199
7.1.1 江浙地区茶园土壤-叶片元素单相关性分析	199
7.1.2 江浙地区茶园土壤-叶片元素偏相关性分析	201
7.2 江浙地区茶园土壤-叶片耦合性分析	203
7.2.1 研究区茶园土壤要素供给指数分析	204
7.2.2 研究区茶叶叶片要素富集指数分析	209
7.2.3 江浙地区茶园土壤要素供给-叶片要素富集耦合度分析	213
7.2.4 江浙地区茶园土壤要素供给-叶片要素富集耦合协调度分析	215
7.3 江浙地区茶园土壤-叶片要素标准差椭圆分析	219
7.3.1 标准差椭圆模型	220
7.3.2 研究区土壤-叶片要素标准差椭圆测算结果分析	221
第 8 章 结论与展望	273
8.1 研究结论	273
8.1.1 描述性统计分析	273
8.1.2 相关关系分析	273
8.1.3 变异函数(空间结构)分析	274
8.1.4 空间插值(空间预测)分析	274
8.1.5 土壤-叶片元素耦合性分析	274
8.1.6 土壤-叶片元素标准差椭圆分析	275
8.2 研究不足与展望	275
8.2.1 研究广度有待进一步加强	275
8.2.2 研究深度有待进一步加强	276
8.2.3 研究内容有待进一步丰富	276
参考文献	277

第 1 章 绪 论

1.1 茶园地理特征指标测度研究背景

我国是世界上最早发现、利用和栽培茶树的国家。有据可查的人工栽培茶树已有近 3000 年的历史。茶树是多年生作物,没有轮作,长期生长在热带和亚热带气候条件下,逐渐进化形成了其特有的生长发育条件,如喜温怕冷、喜酸怕碱、喜湿怕涝、喜光怕晒等。其中喜酸怕碱是茶树最重要的特点,它能在 pH 为 3.0~6.8 的土壤中生长,最适 pH 为 4.5~5.5。目前,我国典型茶区有 50% 以上的茶园土壤 pH 低于 4.5 (韩文炎等, 2002)。

同时,我国也是世界上最大的茶叶生产国、消费国和主要的贸易国。茶叶是我国重要的经济作物,至 2010 年年底,我国共有茶园面积 197 万 hm^2 ,茶叶产量 147.5 万 t,分别占世界茶园总面积和总产量的 53.4% 和 35.4% (ITC, 2011)。其中茶叶出口量 30.24 万 t,茶叶出口总额 7.84 亿美元,分别占全球茶叶贸易量和贸易额的 19.2% 和 17.6%。全国茶叶总产值达 558.5 亿元人民币,涉茶人口数千万。茶叶是公认的健康食品之一,近年来茶叶的消费量在逐年增加,茶叶产品从直接饮用到茶叶饮料,各类茶叶升级转化产品不断涌现。

自古以来,江浙地区就是鱼米之乡,富甲天下,物产富饶,人文荟萃。江浙地区自明清以来就盛产茶叶,许多地区现在一年只产春茶,而当地居民也以绿茶为主,尤其喜欢清明、谷雨前的茶,大部分绿茶以一芽一叶为标准,也有少部分的是纯芽头。相较于其他几类茶叶,绿茶与江南人文环境还是相得益彰的,每年早春做茶时,江浙的茶山上都形成一道靓丽的风景线。而碧螺春和龙井茶则是该地区孕育出的两大瑰宝。近年来,江苏、浙江等一些地方,还专门开展旅游项目,如各种茶会、茶叶节,也由此带动了与茶相关的一些产业的发展 (葛晋纲等, 2013)。

茶叶生产有赖于各项技术措施的应用和实施。据研究,1970~1992 年间世界主要茶园中,化学肥料对茶叶生产的贡献率为 41%,在其他物资投入中,农药等投入也占到了较大比例 (阮建云, 2003)。现代茶叶生产已经日益严重依赖于资源和资本的投入,既增加了能源消耗,也加重了茶叶生产环境负荷,造成近年来茶叶中重金属和农药超标现象时有发生。国外许多发达国家已经注重于茶叶的绿色食品生产,严格控制重金属、农药和有害细菌的残留。随着我国加入世界贸易组织 (WTO),参与农业国际化,今后茶叶生产将面临着一个更为开放的国际市

场，作为自然因素和中国传统文化高度结合的产物、我国最典型的地理标志产品——茶叶，如果不从根本上消除横亘于我国农产品成为国际认可品牌的真正障碍，那么贸易的“绿色壁垒”将会使我国茶叶在国际市场的竞争力和占有率受到极大程度的挑战。

1.2 茶园地理特征指标测度研究意义

在消费领域，随着环保意识的增强、人们价值观念的转变，崇尚自然、注重安全、追求健康的思想将首先影响人们的消费行为，在国际贸易领域，对茶叶卫生和质量监控越来越严，对茶叶生产加工方式及其对环境的影响日益受到重视。茶叶生产涉及产前、产中和产后等过程，都存在着受到污染的风险，特别是茶叶生长的产地环境质量是关系到茶叶安全问题的一个重要环节。通过基地建设改善产地环境，从源头上控制茶叶农药、重金属残留和有害微生物数量，全面提高茶叶的卫生质量，降低产品的质量风险，既迎合了现代人对食品卫生质量的要求，同时也减少了因质量安全而产生的市场风险，是提高我国农产品出口和国际竞争的有效措施。

茶叶优质性的形成与地理背景、历史渊源、生态环境状况等因素有着十分密切的关联，深入揭示茶叶品质与地理环境关系的理论，能有针对地保护和适当调控茶叶的生长环境，维护、改善甚至逐步提升茶叶品质。在此基础上构建具有我国特色的优质茶叶品质评价标准将更具说服力，也更能巩固和提升我国茶叶品牌的国际地位和质量话语权。

碧螺春茶和龙井茶分别是苏州和杭州的两张名片，茶业已成为集经济、生态、社会于一体的特色产业，在农业产业结构调整、发展高效农业、增加农民收入和解决农村就业方面发挥着十分重要的作用。特别是近几年来茶叶的经济收益水平呈逐年加速提高的态势，茶农因收益增速加快而种茶的积极性日益高涨，茶园面积增幅较大，但是在茶叶经济快速发展的同时，生态环境面临着巨大的压力，出现生态破坏和环境质量恶化的现象。加强对江浙地区茶园产区土壤和茶叶地理特征指标的调查和研究，提出控制茶叶产品质量安全技术措施，对促进江浙地区农业生态环境保护和实现茶叶生产的可持续发展具有重要的意义。

1.3 茶园地理特征指标测度研究进展

1.3.1 茶园土壤性状研究进展

土壤是茶树生长的基础，良好的土壤肥力状况是保证茶叶产量和品质的先决

条件,同时茶树的生长特性也影响土壤理化和土壤中微生物的状况,形成了有别于其他作物的茶园土壤特性(刘美雅等,2015)。近年来,有关茶园土壤的研究主要从土壤物理性状、化学性质和微生物等方面展开。

1) 土壤物理性状研究进展

土壤物理学是土壤学中最早的6个分支学科之一。迄今为止,我国对茶园土壤的研究,大部分都是以茶园土壤化学性质为主,关于物理性质方面的研究还是一个薄弱环节,有许多问题亟待解决。对于茶园土壤来说,由于其所进行的特殊栽培和管理,与其他旱作土壤相比有很大的特殊性,因而茶园土壤的物理性质研究较其他农耕地土壤复杂,研究进展也比较缓慢,大部分成果仅是原始调查所总结的一般规律(廖万有,1997)。

(1) 茶园土壤的发生学特征

由于茶树是多年生深根系作物,一旦栽植即长期固定,因此,植茶土壤是一个单作土壤。随着茶树生长、采摘面积的不断扩大,茶行之间的土壤覆盖率逐渐提高,到成年后,只有行间可勉强作为施肥、采茶等管理作业的通道。因此,行间土壤长期受人为活动的影响,而株间土壤在定植茶树后,没有经受过耕翻等人为影响,有比较稳定的理化性质。与普通旱作地的表层土壤相比,普通旱作地土壤由于培肥等管理而变得不一致时,可由每茬翻耕等作业使其重新一致。然而茶园土壤却不同,它随着树龄的不断增大,行间不同位置的土壤性质,尤其是物理性质的不一致也就越来越明显,这就形成了茶园土壤发生过程中区别于其他旱作土壤的重要特征之一(廖万有,1997)。

众所周知,茶树属热带和亚热带喜酸作物。因此,在我国植茶土壤主要是红壤、黄壤和黄棕壤,也有部分紫色土和冲积土等。这些酸性土壤在植茶前均经历过脱硅富铝化的地球化学过程。植茶后,随茶树的生长、茶园施肥、茶树对养分的吸收和茶树落叶的生物富集等,0~20cm 土层中固相:液相:气相为 43~50:22~19:35~31;20~40cm 土层中固相:液相:气相为 43~54:25~21:31~25。林心炯(1989)对福建省高产红壤茶园调查提出:0~20cm 土层中固相:液相:气相以 42~46:33~24:25~30 为宜。中国农业科学院茶叶研究所在 1986 年主编的《中国茶树栽培学》一书中表明高产茶园表层土壤固相:液相:气相大致以 50:20:30 左右为宜,而心土层则以 55:30:15 左右为宜。

(2) 茶园土壤的含水量和容重

茶园土壤水分是目前茶园土壤物理性质研究中最活跃的领域,进展也较快。

其一是初步探明了茶树生育的适宜土壤含水量。据苏联奥夫恰联柯对老茶园土、新茶园土和未经垦殖的生荒土等长期研究结果,产量较高的熟化茶园土在 0~50cm 土层中土壤容重为 $1.02\sim 1.34\text{g/cm}^3$ 、总孔隙度在 52%~60%时,水分物理

特性参数是:最大吸湿水 6.5%~11.9%、凋萎湿度 20.5%、最大持水量 32.2%~40.4%,茶树生长的有效水分为 17.7%。杨跃华等(1987)研究表明在土壤相对含水量为 60%~75%时,茶树地下部分生长最好,根粗而长;而相对含水量为 105%时,根系生长较差,只在近地表部分有一些新根;当相对含水量达 30%时,根系不能生长。我国赵晋谦等(1979)、许允文等(1986)研究表明,红壤茶园以土壤含水量达到田间持水量的 90%左右时,茶树生长最好,产量最高;土壤含水量降低到田间持水量的 70%时,就需要灌溉补充水分。据王晓萍(1992)研究,当土壤相对含水量为 70%~90%时,根系在土壤中分布范围最广,根系总量和吸收根的重量最大,反映根系活力的脱氢酶活性最强;当土壤含水量为 50%和 110%时,根系发育受到严重抑制,从而降低了根系吸收和利用土壤养分的能力。

其二是探明了茶园土壤有效水与土壤物理结构的关系。测得茶园土壤有效含水量与土壤总孔隙度呈曲线相关,与有机碳呈直线相关;饱和渗透率及累计渗透率与大孔隙率呈指数相关(杨跃华等,1987)。

其三是探明了我国低丘红壤茶园土壤的持水特性及水分循环特征。许允文等(1991)对浙赣地区第四纪红壤茶园土壤调研结果表明,此类茶园持水量与黏粒含量和毛管孔隙(<0.05mm)的数量呈高度线性相关,田间持水量可达 32%以上,然而有效含水量仅为 11%左右,且 50%以上的释放量在 0.1~0.3MPa 的高吸力段内,对茶树供水力差。红壤茶园虽然在 1m 深土体中的贮水量可高达 500mm 左右,但在旱季能参与土壤水分循环的仅约 1/4,这就是红壤茶园易受干旱威胁的重要原因。他们的研究还表明,我国红壤茶园土壤水分动态特征与该地区的水文气候特点一致,大致可分为贮水高峰期(3~6 月),蒸散消耗期(7~10 月)和补充恢复期(11 月~次年 2 月)等 3 个阶段。由此可见,充分利用低丘红壤茶园水资源是该地区茶叶生产的首要任务。

(3) 免耕茶园土壤的物理性状

20 世纪 70 年代开始,我国提出了在茶园中实行密植免耕,很自然地把高度密植与免耕法结合起来进行茶园密植免耕对土壤物理性状影响的研究。姚国坤和葛铁钧(1987)研究表明,与现行条栽耕作茶园相比,密植免耕茶园的表层(0~10cm)土壤容重增大 10%~13%,大于 0.1mm 的大孔隙减少 5.6%~8.4%,总孔隙度减少 3.9%~7.8%,而其他层次土壤的大、中、细、极细的孔隙及容重较接近。与现行条栽耕作茶园相比,密植免耕茶园 0~20cm 土层的透水系数(K 值)低得多,持水力明显降低,但 20~60cm 土壤的透水系数及持水力差异甚小。张亚莲(1990)、刘继尧(1991)的结果表明,红壤常规茶园免耕与耕作土壤相比,0~45cm 土层中>0.25mm 的水稳性团聚体增加 27%,在日降水量达 50mm 以上时,土壤冲刷量仅为常规耕作茶园的 21.5%,水土保持能力加强。据我国贵州、浙江、湖南、江西、湖北等省的大量试验表明,免耕法作为密植茶园土壤集约化管理方

法之一是可行的,但在茶园实行免耕时,对树体和土壤物理指标都有一定的要求,因此,要因地制宜,灵活掌握。

2) 土壤化学性质研究进展

(1) 氮元素

氮元素是茶树生长所需的重要元素,在所有生命体中起着极其重要的作用,是茶树体中除碳、氢、氧外含量最多的元素。茶园土壤中的氮元素除来自于成土母质外,还可通过以下途径获得:①大气中分子氮的生物固定,植物无法直接吸收大气和土壤空气中的氮分子,氮分子需要经过固氮微生物固定成为有机氮化合物,才可进入土壤;②雨水和灌溉水带入,雷电可使大气中的氮氧成为二氧化氮与一氧化氮等氮氧化物,其可与气态氮溶解在降水中,随雨水进入土壤,而随灌溉水进入土壤的则多为硝态氮;③有机肥与化学肥料,增施有机肥可增加土壤含氮量,提高土壤肥力(黄昌勇,2000)。

氮元素在土壤中主要以无机氮与有机氮两种形式存在,有机氮占全氮量的95%以上,无机氮只占少部分。有机氮包括腐殖质、氨基酸、蛋白质等,必须在微生物的作用下经过矿化作用转化为无机氮,才能被茶树吸收。无机氮可分为铵态氮($\text{NH}_4\text{-N}$)与硝态氮($\text{NO}_3\text{-N}$)两种形态(向芬等,2012)。茶树吸收 $\text{NO}_3\text{-N}$ 后必须将其还原成 $\text{NH}_4\text{-N}$ 后才能利用,其还原过程分为两步, $\text{NO}_3\text{-N}$ 首先经过硝酸还原酶的作用还原成 NO_2^- , NO_2^- 再经过亚硝酸还原酶的作用还原成 NH_3 ,由于第二步比第一步迅速,因此茶树体内不会残留 NO_2^- 。茶树吸收的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 经过谷氨酸脱氢酶系统(GDH)和谷酰胺合成酶-谷酰胺- α -酮戊二酸氨基转移酶系统(GS-GOGAT)的同化作用合成谷氨酸,茶树把多余的谷氨酸转化为茶氨酸、谷酰胺和精氨酸,最后合成的谷酰胺和精氨酸转移到茶树的各器官中,通过转氨作用形成茶树所需的各种氨基酸(胡明宇等,2009)。

土壤氮元素对茶叶品质的影响显著,主要体现在蛋白质、茶多酚、氨基酸与咖啡碱含量以及茶叶香气的组成,维生素与多种酶类也与氮元素密切相关(胡明宇等,2009)。Yuan(2000)、苏有健等(2011)研究发现,随着土壤含氮量的增加,茶叶中氨基酸与咖啡碱的含量逐渐增加,而茶多酚的含量则有所降低,酚氨比下降。氨基酸能够提高茶叶的鲜爽度,咖啡碱则会加强茶叶的苦涩度,酚氨比作为茶叶的重要评定指标,其值与茶叶品质成反比,酚氨比越低代表茶叶品质越高,反之品质越低。由此可知土壤氮元素对茶叶的品质具有积极的作用,能够有效提高茶叶的品质。

但土壤氮元素过多或缺少都会对茶叶产生不良影响。邓敏等(2012)研究发现,土壤氮元素超过适宜数量后,茶叶百芽重和新梢生长量将下降。杨耀松(1996)

研究表明,土壤施氮过多会影响儿茶素的含量和组成,限制糖类向多酚类转化,使多酚类和水浸出物含量降低,引起叶绿素残留,导致茶色灰暗,汤色混浊,并增加咖啡碱含量,影响茶叶品质。林郑和等(2013)认为,缺氮对不同品种的茶树植株生长量均有负面影响。缺氮时,树体长势较弱,叶色枯黄,芽细叶小,叶片容易提前掉落,产量降低且品质较差。研究发现,土壤氮素含量与氨基酸及茶多酚含量有很大关联,缺氮会限制茶多酚的积累与代谢,降低氨基酸含量,从而影响茶树长势(Ruan et al., 2010)。

(2) 磷元素

土壤磷元素是土壤肥力的重要组成之一,具有沉积性,磷元素的迁移性在营养元素当中是最低的,在成土过程中,磷元素的风化、淋溶和富集迁移是诸多成因共同作用而成,其积累主要由生物富集迁移作用决定(李玲等,2008)。土壤中的磷元素主要源于成土母质与肥料,其含量有明显的区域性差异,从北至南逐渐降低(黄昌勇,2000)。由于磷元素以沉积的形式存在,迁移性较低,故其利用效率低,尤其在南方,酸性或强酸性土壤较多,活性铁、铝含量相对较高,可溶性磷多与其结合形成难溶性化合物,降低有效磷含量(张鼎华等,2001)。

土壤中按其化学结构可分为无机磷与有机磷两大类,按其利用效率可分为活性磷(速效磷)与非活性磷。不同形态的磷元素对茶叶品质有不同的影响,磷元素进入茶树体内后,多以有机化合物的形式存在,约占80%,也有部分以无机形式存在,约占20%。无机磷中,主要是闭蓄态磷(O-P),其次为磷酸铁(Fe-P),磷酸铝(Al-P)和磷酸钙(Ca-P)较少。磷酸铝与茶多酚、水浸出物正相关并达显著水平。范腊梅等(1988)研究表明:土壤全磷和茶叶的茶多酚、氨基酸、水浸出物等品质成分无明显相关;速效磷与茶多酚、水浸出物呈显著正相关,相关系数分别为0.561和0.578,但与茶叶氨基酸含量无明显相关;土壤中无机磷及有机磷总量与茶叶品质成分无明显的相关性,但为茶树生长提供了营养支持。

(3) 钾元素

钾是茶树生命代谢过程中具有重要生理功能的一价阳离子,在茶树体内的含量仅次于碳、氢、氧、氮。钾元素在土壤中的形态通常有矿物态钾、非交换性钾、交换性钾和溶液态钾4种。4种不同形态的钾在一定条件下可相互转化,处于动态平衡中。溶液态钾是茶树吸收钾的直接来源,随着茶树对钾的吸收或淋失,土壤溶液态钾浓度降低,交换性钾就会发生解吸,进入溶液中。速效钾由溶液态与交换性钾组成,两者间平衡速率极快。伴随交换性钾含量下降,非交换性钾将会释放转变为交换态,而矿物态钾则只有经过长期风化作用才能释放出来,是植物有效钾的储备库(吕连梅和董尚胜,2003)。

据阮建云等(1996)研究表明,我国茶园土壤的全钾含量为10~20g/kg,缓效钾含量为101~820mg/kg,平均值只有276mg/kg,速效钾含量低于80mg/kg的

茶园占 59.05%，多在广东、广西、云南等南方省市。茶园土壤有效钾含量表现出区域性差异，有自南向北逐渐增加的趋势，如以土壤类型分则为棕壤>黄棕壤>红黄壤>赤红壤>砖红壤（韩文炎等，2004）。另外，张荣艳等（2006）研究发现，同一地区的速效钾在土壤剖面上的含量分布特征表现为上层土>中层土>下层土，不同地区的速效钾则由于施肥、耕作等因素而有所不同。

（4）pH

茶树起源于我国西南地区的云贵高原，地处亚热带温和湿润气候，所以茶树形成了喜酸怕碱的习性（马立锋等，2000）。一般来说，土壤 pH 在 4.0~6.5 之间茶树能正常生长，pH 高于 6.5 时茶树生长逐渐停滞，超过 7.0 时甚至会死亡；低于 4.0 时茶树生长受到抑制，影响茶叶产量与质量。林智等（1990）的研究表明，在 pH 为 5.0~6.0 的土壤上，茶树发芽早、新梢生长较快、根系发达；pH 为 5.5 时，新梢生长速率最大、根系生长最好、对茶叶品质最有利；茶树对锌的吸收随土壤 pH 升高而降低。理论上茶园土壤最佳 pH 应是 5.5，但在生产实践中，最适宜控制在 5.0~6.0，且要注意增加锌肥的施用。茶叶的产量和品质是建立在茶园土壤环境基础上的，而茶园土壤酸化会增加重金属向茶叶中转移的可能，降低茶叶饮用的安全性。马立峰等（2000）的研究表明，茶园施肥不平衡，偏施氮肥，少施甚至不施有机肥；工业发展带来的三废和酸雨；茶园中的枯枝落叶还原以及土壤溶液中的阳离子和土壤的交换性阳离子都能引起茶园土壤的酸化。

（5）铅元素

铅是一种有神经毒性的微量重金属元素，为生物体非必需元素，对人体无任何生理功用，理想血液中浓度为零。但是全球现代工业和交通的迅猛发展，使铅元素在环境中普遍存在。茶叶中的铅是目前人们关注最多的重金属元素之一，含量一般在未检出到几十毫克每千克之间，我国茶叶中重金属残留限量国家标准规定茶叶中铅元素的最高限量为 5.0mg/kg（以 Pb 计）（石元值等，中国茶叶检测技术讲座）。浙江省龙井茶中 1996 年铅元素平均含量为 0.63mg/kg；1997 年铅元素平均含量为 0.74mg/kg；1998 年铅元素平均含量为 0.87mg/kg；1999 年铅元素平均含量为 2.11mg/kg，呈逐年上升的趋势（陈宗懋，1988）。铅污染已成为影响茶叶卫生质量和出口创汇的一个主要因素。

铅是一种对环境污染危害较重的重金属元素之一，它的污染来源主要有以下途径：一是通过根系从土壤中吸收；二是大气中的铅元素通过干湿沉降黏着于茶叶表面，或通过叶片吸收系统被吸收；三是在加工过程中污染，其中由根系从土壤中吸收是很重要的途径（陈宗懋等，2007）。根是茶树从土壤吸收养分的主要器官，由于铅离子带正电，当铅离子通过细胞壁时会因为细胞壁的负电荷而大量络合并沉积，只有少量的铅离子进入细胞内部，因此茶树的吸收根是铅元素的主要蓄积部位（石元值等，2003）。茶树根部蓄积的铅元素通过木质部运输扩散到

茎、叶和新梢。试验表明,茶树新梢中的铅元素含量与土壤有效态铅呈极显著正相关($P<0.01$),与土壤全铅也呈显著正相关($P<0.05$),降低土壤中的铅元素含量,能相应地降低茶树新梢中的铅元素含量(石元值等,2003;孔牧等,1999)。石元值等(2003)的盆栽实验说明,当整个耕层土壤有效铅元素含量为 7.28mg/kg 时茶叶中铅元素含量达到了 2mg/kg 。很多研究也表明铅主要累积在植物根部,在重金属污染环境生长的植物更大比例地积累和富集于根部及茎等不易被次级消费者啃食的部位,从而避免了向环境中的扩散,对环境污染具有一定的净化作用(石元值等,2003)。由此可见,控制茶叶中铅元素含量的关键是土壤中有有效态铅的含量。关于田间自然条件下土壤的全铅含量与茶叶中铅元素含量的关系还需要进一步研究。

(6) 锌元素

锌是茶树体内的生命活性元素之一,它不仅是许多酶的组分活化剂,而且与叶绿素和生长素的合成有关。土壤有效锌含量降低已成为很多茶园产量和品质进一步提高的重要制约因素,国内外许多学者都认为施锌能提高茶叶产量和改善品质。韩文炎等的研究表明,茶树对锌元素有很强的吸收能力,叶部(喷施)和根部(土施)吸收的锌元素能很快转移到茶树的其它部位,除成熟叶外,新梢、生产枝、主根和吸收根的含锌量与土壤有效锌含量均呈极显著正相关,新梢可作为茶树缺锌诊断的取样部位。适量施锌能改善茶树的整体生理机能,使茶树氧化还原酶促反应和碳代谢朝着有利于茶叶产量和品质形成的方向发展;但过量施锌,茶树生长就会受阻,PPO(polyphenol oxidase,多酚氧化酶)和NR(nitrite reductase,亚硝酸还原酶)活性下降,碳代谢也向着不利于茶多酚和氨基酸合成与积累的方向进行,从而降低茶叶产量和品质。龚子同和陈鸿昭(1995)等通过对名优特茶叶的地球化学环境的调查发现茶汤中锌元素含量对绿茶级别的影响十分明显。

(7) 砷、镉元素

砷元素在农业生态系统中以及一般食物包括茶叶中或多或少都存在。长期以来人们把砷元素和砷化物看成是污染元素,其实砷元素的毒性比硒元素还要低。还有研究表明,砷是一种人类生命必需元素,在人体内含量恒定,参与人体正常的生命活动。人体缺砷,就会导致机体功能的减弱,但若摄入过多就会损害人体健康。我国茶叶行业标准中类重金属元素砷的残留限量为 2mg/kg (以As计)(石元值等,中国茶叶检测技术讲座)。镉是一种对人体有很大毒害的重金属元素,它的来源主要是由于提炼金属工厂中散发出含有镉元素的气体和烟雾随大气浮动扩散而沉降散落在附近的茶园中(陈宗懋,2004)。可溶性镉化合物属中等毒类金属毒物,能抑制体内的各种巯基酶系统,使组织代谢发生障碍,也能损伤局部组织细胞,引起炎症和水肿。可溶性镉化合物对人体产生毒性的浓度为