

黄继川, 肖志云, 吴雪娜, 涂玉婷, 彭智平. 茶园化肥减量增效技术的推广应用——以广东大埔县为例 [J]. 广东农业科学, 2020, 47(2): 75–82.

## 茶园化肥减量增效技术的推广应用 ——以广东大埔县为例

黄继川<sup>1</sup>, 肖志云<sup>2</sup>, 吴雪娜<sup>1</sup>, 涂玉婷, 彭智平<sup>1</sup>

(1. 广东省农业科学院农业资源与环境研究所 / 农业农村部南方植物营养与肥料重点实验室 /  
广东省养分资源循环利用与耕地保育重点实验室, 广东 广州 510640;  
2. 大埔县农业农村局, 广东 大埔 514299)

**摘 要:**【目的】围绕茶叶“化肥零增长”和“提质增效、绿色发展”的工作主线, 集成可推广应用的茶园化肥减量增效施肥技术。【方法】基于测土配方施肥、有机肥替代化肥和水肥一体化等高效施肥技术在大埔县代表性茶园建立定位试验点 3 个和应用监测点 14 个, 根据试验和监测效果集成茶园化肥减量增效施肥技术, 并通过培训和示范观摩进行推广。【结果】对 3 个试验点调查表明土壤质量明显提升, 有机质提高 0.3~2.0 g/kg; 土壤酸化缓解, pH 值提高 0.02~0.18; 茶青产量增加 5.2%~17.1%, 品质改善明显, 种植效益提高 3 960~16 110 元/hm<sup>2</sup>。对监测点调查表明茶园土壤重金属含量符合国家环境一级标准、茶叶重金属含量 100% 符合国家安全标准。通过技术示范和观摩培训, 改变了农户的施肥观念, 提高了施肥技术水平, 茶园有机肥用量提高 895.5 kg/hm<sup>2</sup>, 化肥用量减少 184.5 kg/hm<sup>2</sup>, 全县 2018 年化肥用量较 2017 年减少 1 676 t, 减幅 8.0%, 初步实现了大埔茶园“化肥零增长”的目标。推动培育茶叶品牌超过 20 个, 新建水肥一体化茶园面积 330 hm<sup>2</sup>, 茶业综合竞争力明显提升。【结论】基于测土配方、有机替代和水肥一体化的化肥减量增效模式能够有效降低化肥用量, 实现茶叶增产提质, 为推动茶叶绿色高效栽培、茶业产业兴旺和乡村振兴提供重要支撑。

**关键词:** 化肥减量增效; 测土配方; 有机替代; 水肥一体化; 技术推广

中图分类号: S147.21

文献标志码: A

文章编号: 1004-874X(2020)02-0075-08

## Promotion and Application of “Chemical Fertilizer Saving and Efficiency Improving Technology” in Tea Garden —A Case Study of Dabu County, Guangdong Province

HUANG Jichuan<sup>1</sup>, XIAO Zhiyun<sup>2</sup>, WU Xuena<sup>1</sup>, TU Yuting<sup>1</sup>, PENG Zhiping<sup>1</sup>

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Guangdong Academy of Agricultural Sciences/  
Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer in South Region, Ministry of Agriculture and Research/  
Guangdong Key Laboratory of Nutrient Cycling and Farmland Conservation, Guangzhou 510640, China;  
2. Dabu County Bureau of Agricultural and Rural Affairs, Dabu 514299, China)

**Abstract:**【Objective】Focusing on the main line of “zero growth of chemical fertilizer” and “quality and performance improvement and green development” for tea industry, the study aimed to integrate an applicable application

收稿日期: 2020-01-19

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0200402); 广东省乡村振兴战略专项资金(TS-2-1); 广东省农业科学院院长基金(202045); 2018 年大埔县果菜茶有机肥替代化肥试点县项目

作者简介: 黄继川(1981—), 男, 硕士, 副研究员, 研究方向为作物高效施肥, E-mail: huangkuang\_2002@aliyun.com

通信作者: 彭智平(1964—), 研究员, 研究方向为土壤培肥改良与新型肥料应用, E-mail: ytfefi@aliyun.com

technology of saving and improving efficiency of chemical fertilizer in tea garden. 【Method】Based on high-efficiency fertilization technologies such as soil testing and formula recommendation, organic fertilizer replacing chemical fertilizer and fertigation, three location experiments and fourteen monitoring points were established in the representative tea gardens of Dabu County. According to the experiment and monitoring results, the technology model of saving and improving efficiency of chemical fertilizers for tea garden was integrated and promoted through training and demonstration. 【Result】Result of the three location experiments showed that the soil quality was improved, the organic matter was increased by 0.3–2.0 g/kg; the soil acidification was alleviated and pH was increased by 0.02–0.18. The yield of tea green was increased by 5.2%–17.1% and the quality was improved, with the planting benefit increased by 3 960–16 110 yuan/hm<sup>2</sup>. Result of monitoring points showed that the heavy metal contents of tea garden soils were in line with the first-class national environmental standard, and the heavy metal contents of tea leaves were all up to the national safety standard. Through technical demonstration and observation training, the farmers' concept of fertilization was changed, and the fertilization technology level was improved. The organic fertilizer consumption increased by 895.5 kg/hm<sup>2</sup> while the chemical fertilizer consumption decreased by 184.5 kg/hm<sup>2</sup> in tea garden. The chemical fertilizer consumption of Dabu county in 2018 decreased by 1 676, 8.0% reduced compared with that in 2017, and the goal of “zero growth of chemical fertilizer” in Dabu tea garden was preliminarily achieved. More than 20 tea brands were cultivated and 330 hm<sup>2</sup> of fertigation tea garden were built, and the comprehensive competitiveness of the tea industry was significantly improved. 【Conclusion】The “chemical fertilizer saving and efficiency improving technology” based on soil testing and formula recommendation, organic fertilizer substitution and fertigation can effectively reduce the consumption of chemical fertilizer, increase yield and quality of tea, and provide important support for promoting green and efficient tea cultivation, prosperity of tea industry and revitalization of rural areas.

**Key words:** chemical fertilizers saving and improving efficiency technology; soil testing and formula fertilization; organic substitution; fertigation; technology extension

【研究意义】农业作为基础产业，是关系国计民生的重要保障，而搞好生态环境是农业可持续发展的前提。党的十八大将生态文明建设纳入中国特色社会主义“五位一体”总体布局，给当前乡村振兴战略实施中如何实现农业增产增收的同时确保生态环境友好提出了更高要求。化肥作为农业生产的重要生产要素，长期以来是实现作物增产的重要保障<sup>[1]</sup>，然而长期化学肥料的盲目施用引起的土壤酸化、养分不平衡、环境污染以及农产品安全等问题也日趋严峻<sup>[2-3]</sup>。广东大埔是我国茶叶的优质产区，茶叶种植面积5 333 hm<sup>2</sup>，产值4.11亿元<sup>[4]</sup>，是当地农业的重要组成部分。当前该区域茶园施肥存在两个极端：一是部分茶企苛求茶叶的有机栽培，长期不施化学肥料，导致茶园土壤贫瘠；二是散户种植为了追求产量，偏施化肥，导致茶园土壤肥力不平衡、茶园环境风险加剧<sup>[5]</sup>，同时造成病虫害爆发，引起农药超量使用。据统计，我国茶园养分投入总量（N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O）为796 kg/hm<sup>2</sup>，粤东茶区为865 kg/hm<sup>2</sup>，且以氮肥为主，全国30%的茶园存在化肥超量施用，而有机养分用量仅占养分总投入的15%<sup>[6-7]</sup>。化肥过量施用的

深层原因：一是施肥人员知识水平低<sup>[8]</sup>，对茶叶种植体系肥料需求规律和高效利用机理以及土壤培肥缺乏深入认识；二是化肥替代产品研发应用落后，施肥配套装备缺乏。因此因地制宜拓宽肥源制订合理替代方案，集成实用的茶园化肥减量增效施肥技术，培训提升茶农施肥技术水平，对于茶叶安全、优质和高效栽培具有重要意义。

【前人研究进展】近年来我国围绕农业发展“转方式、调结构”的战略部署，按照“一控两减三基本”的要求大力推进测土配方、水肥一体化和有机肥替代化肥技术，收效显著。诸多研究也表明测土配方<sup>[9]</sup>、有机替代<sup>[10]</sup>以及水肥一体化等技术能够有效降低化肥用量，培肥土壤，提高肥料效益和作物产量以及品质<sup>[11-12]</sup>。【本研究切入点】2017年来，国家农业农村部在全国范围内开展果菜茶有机肥替代化肥试点，旨在推动有机肥源循环利用，促进农业绿色发展。作为项目试点县，大埔县农业部门与广东农科院技术团队联合攻关，在调研茶园土壤肥力状况和当地施肥情况的基础上，以改良土壤、提高有机质含量、平衡土壤养分以及精准施肥提高养分效率为技术切入点，研究配方肥、有机肥和水肥一体化技术在

缓解茶园土壤酸化、培肥土壤、降低化肥施用潜力、产地环境安全以及茶叶产量、品质和效益方面的影响。【拟解决的关键问题】在代表性茶园建立定点试验和多个监测点开展茶园配方肥、有机肥以及水肥一体化技术试验示范,根据试验点和监测点的应用效果集成茶叶化肥减量增效施肥模式,并通过媒体宣传、现场示范观摩和培训提升茶农施肥水平,推动技术模式的大面积应用,实现茶叶优质、高效和安全生产,为全面提升该区域茶业综合竞争力提供技术支撑。

## 1 茶园化肥减量增效技术推广

### 1.1 化肥减量增效技术模式

茶园化肥减量施用采取“精、调、改、替”的技术路径,以广东省农业农村厅颁布的主推技术为指导,根据测土配方技术、土壤有机质提升培肥改良技术、水肥一体化技术相结合集成茶园化肥减量增效施肥技术模式。梅州地区土壤酸

性较强<sup>[13]</sup>,且茶园土壤酸化严重已成为我国茶园的普遍现象<sup>[14]</sup>。根据对大埔县代表性茶园采集土样的分析,结果(表1)表明土壤pH值在4.15~5.05之间,平均为4.62,土壤酸性较强,而茶叶适宜的土壤pH值在5.0~5.5之间<sup>[15]</sup>,过酸的土壤理化性质劣化,土壤缓冲性能低,易造成养分流失,因此,有必要对土壤进行改良。土壤有机质含量在13.2~35.1 g/kg之间,平均为22.5 g/kg,样品间有机质变异较大,存在42.9%的样品低于20.0 g/kg,仍需增施有机肥,培肥茶园土壤。土壤碱解氮含量在92.0~267.0 mg/kg,28.6%的样品低于150.0 mg/kg;有效磷含量在0.22~15.46 mg/kg之间,78.6%的样品低于10.0 mg/kg;速效钾含量在29.8~113.9 mg/kg之间,92.9%的样品低于90.0 mg/kg,总体存在部分缺氮、磷钾供肥能力普遍较弱。交换性钙含量在17.8~205.1 mg/kg之间,交换性镁含量在5.42~24.76 mg/kg之间,普遍缺钙缺镁。

表1 大埔县代表性茶园土壤肥力(n=14)  
Table 1 Soil fertility of representative tea garden in Dabu county (n=14)

指标 Index	pH	有机质 Organic matter (g/kg)	碱解氮 Alkali-N (mg/kg)	有效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	交换性钙 Exchangeable Ca (mg/kg)	交换性镁 Exchangeable Mg (mg/kg)
最小值 Minimum value	4.15	13.2	92.0	0.22	29.8	17.8	5.42
最大值 Maximum value	5.05	35.1	267.0	15.46	113.9	205.1	24.76
平均值 Mean	4.62	22.5	171.9	3.99	59.0	70.9	12.37
标准差 Standard deviation	0.26	7.2	49.2	4.72	22.6	61.20	6.58
变异系数 Coefficient of variation (%)	5.72	32.17	28.61	118.53	38.21	86.33	53.18

通过茶园土壤测定以及开展施肥试验和多点监测对施肥方案的优选制订施肥模式以有机无机配合为主、注重生理碱性肥料调节土壤pH,氮磷钾三要素方面注重氮肥的减量控制,全面补充磷肥、钾肥和钙镁肥料,有条件茶园采用水肥一体化技术提高水肥效率。表2所列施肥模式确定了茶园有机肥、化肥的施肥品种、数量、时期和方法,其中有机肥以基肥形式在冬季施用,氮磷钾等大量元素采用硫酸铵、钙镁磷肥、硫酸钾,施肥方式结合茶园条件采用撒施或结合水肥一体化施肥。3种施肥模式于2018—2019年在大埔县335 hm<sup>2</sup>代表性茶园连续推广2年,其中在广东凯达茶业股份有限公司、广东飞马峰农业有限公司、广东屏翠山茶业有限公司茶园基地开展施肥模式定点试验(每个点设置3种施肥模式,每个模式

3个重复),此外,建立有机替代化肥减量核心示范区监测点14个进行示范推广。

### 1.2 推广策略

一是加强政府项目扶持,依托测土配方施肥示范项目、果菜茶有机肥替代化肥试点项目、耕地保护与质量提升项目和化肥减量增效相关项目的实施,给予示范点茶企、种植大户等农业经营主体在检测服务、有机肥购买、水肥一体化装备安装、农家有机肥积造堆肥点基建、堆肥机具和运输车辆以及堆肥腐熟剂方面给予补贴扶持;二是通过院地合作,采取科研院所专家、农业推广专业技术人员指导建立示范基地开展减肥增效施肥模式的多点试验示范,结合新型职业农民和职业经理人等专业培训,并适时开展现场示范观摩让茶农在科学施肥上有感性的认识和理性的理

表 2 大埔县茶叶化肥减量增效施肥技术模式  
Table 2 Chemical fertilizer saving and efficiency improving technology model for tea in Dabu County

模式 Model	施肥方案 Fertilization scheme
模式 1 Model 1	每公顷施农家腐熟有机肥 5.4 t（有机质 48.5%、N1.1%、P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 1.6%、K <sub>2</sub> O 2.4%、pH8.2），化肥 N 90 kg、P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 60 kg、K <sub>2</sub> O 120 kg、CaO 150 kg、MgO 40.5 kg。其中农家肥和钙镁磷肥在冬季开沟条施，结合施用化学氮肥的 30% 和钾肥的 45%；其余化学氮肥和钾肥分别在 5 月施用总量的 40%、25%；7—8 月施用 30%、30%，施肥方式为撒施。飞马峰基地 2~3 年生幼龄茶园施肥量为上述 50%。
模式 2 Model 2	每公顷施生物有机肥 6.0 t（有机质 35.0%、N 1.0%、P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0.6%、K <sub>2</sub> O 1.7%、pH8.0，有效活菌数大于 0.2×10 <sup>8</sup> /g），化肥用量与施肥方案同模式 1。
模式 3 Model 3	每公顷施腐植酸水溶肥 800 L（N 150g/L、P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 60 g/L、K <sub>2</sub> O 120 g/L，含腐植酸 40 g/L），折合每公顷 N 120 kg、P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 48 kg、K <sub>2</sub> O 96 kg，分 5 次施用，分别在 1 月、5 月、7 月、9 月、12 月施用 20%、25%、15%、15%、25%，采用施肥灌溉管道进行水肥一体化施用。飞马峰基地 2~3 年生幼龄茶园施肥量为上述 50%。
对照 CK	按照当地施肥习惯每公顷撒施 N 150 kg、P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 60 kg、K <sub>2</sub> O 120 kg，分别在冬季、5 月和 7—8 月施用 40%、30% 和 30%。飞马峰基地 2~3 年生幼龄茶园施肥量为上述 50%。

解，提高科学施肥水平，增强化肥减量的意愿；三是通过新媒体如 QQ 群、微信群、农技宝、施肥博士等平台适时开展技术咨询服务，及时为农户在施肥技术上面临的问题给予答疑。

2 化肥减量增效模式推广效果

2.1 茶园土壤质量得到提升

减肥增效施肥模式的推广结果（表 3）表明，通过有机替代、测土配方和水肥一体化集成茶园施肥模式，有效提高了土壤 pH，缓解了土壤酸化的趋势，其中模式 1 pH 提高 0.02~0.10、模式 2 pH 提高 0.02~0.18、模式 3 pH 提高 0.05~0.09。土壤有机质提升效果明显，模式 1

提高 1.3~2.0 g/kg、模式 2 提高 0.7~1.2 g/kg、模式 3 提高 0.3~0.5 g/kg。通过有机肥培肥、配方肥的平衡施用有效提高了土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量，增强了土壤的供肥能力。采用有机替代与测土配方施肥技术的示范监测点调查结果（表 4）表明，土壤 pH 平均提高 0.06，有机质平均提高 0.7 g/kg，碱解氮、有效磷、速效钾及交换性钙和交换性镁含量均不同程度提高，改善了土壤养分平衡状况，提高了供肥能力。同时通过树立示范典型基地，培训、观摩等辐射作用带动了茶区农民循环利用有机肥资源的积极性，一些种植户和茶企主动尝试绿肥压青、秸秆还田培肥茶园土壤，有效带动了农户使用有机肥源的积极性。

表 3 大埔县代表性茶园 3 种模式定点试验土壤肥力（n=3）  
Table 3 Soil fertility of three models at the location experiment points in representative tea gardens of Dabu County (n=3)

施肥模式 Model	试验点 Experiment point	pH	有机质 Organic matter (g/kg)	碱解氮 Alkali-N (mg/kg)	有效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)
模式 1 Model 1	试验前	凯达	4.82	20.3	163.6	0.61
		屏翠山	4.47	34.5	135.3	4.75
		飞马峰	4.71	20.6	162.8	0.46
	试验后	凯达	4.84	22.3	168.2	3.62
		屏翠山	4.55	35.8	140.3	5.02
		飞马峰	4.81	22.6	166.5	2.88
模式 2 Model 2	试验前	凯达	4.38	18.5	158.1	1.50
		屏翠山	4.61	16.0	125.1	0.81
		飞马峰	4.65	30.7	150.6	0.46
	试验后	凯达	4.56	19.2	162.4	2.76
		屏翠山	4.73	17.2	130.0	2.25
		飞马峰	4.67	31.5	156.2	2.88
模式 3 Model3	试验前	凯达	4.75	20.3	160.5	13.46
		屏翠山	4.32	16.0	178.5	2.48
		飞马峰	5.00	27.2	180.5	1.00
	试验后	凯达	4.84	20.8	162.2	16.52
		屏翠山	4.40	16.5	185.2	5.85
		飞马峰	5.05	27.5	182.3	4.22



表 4 监测点土壤培肥效果 ( n=14 )  
Table 4 Results of soil fertilization at monitoring points (n=14)

调查时间 Investigation time	pH	有机质 Organic matter ( g/kg )	碱解氮 Alkali-N ( mg/kg )	有效磷 Available P ( mg/kg )	速效钾 Available K ( mg/kg )	交换性钙 Exchangeable Ca ( mg/kg )	交换性镁 Exchangeable Mg ( mg/kg )
实施前 Before implementation	4.62	22.5	171.9	3.99	59.0	70.9	12.4
实施后 After implementation	4.68	23.2	173.8	5.82	64.2	75.5	14.4

2.2 茶叶产量、品质和经济效益提高

采用测土配方、有机替代和水肥一体化技术等施肥模式茶青产量（表5）增加明显，模式1茶青产量增加5.2%~11.6%、模式2增加7.5%~11.0%、模式3增加11.2%~17.1%。茶叶品质得到改善，茶叶水浸出物、茶多酚和氨基酸含量均有不同程度提高，茶多酚与氨基酸比值降低。种植效益（表6）方面，采用有机替代、测土配方和水肥一体化等化肥减量增效施肥模式由于有机肥用量增加、灌溉设备的投入增加了施肥成本，但是由于产量上的增加仍然提高了茶叶的种植效益，其中凯达和屏翠山6~8年生茶园经济效益较对照提高，模式1分别提高11 805、4 875元/hm<sup>2</sup>、模式2分别提高3 960、6 420元/hm<sup>2</sup>、模式3分别提高12 390、16 110元/hm<sup>2</sup>；而飞马峰2~3年生幼龄茶园虽然增产，但由于产量较低，尚未能体现出明显经济效益，主要体现在培肥茶园土壤，促进幼龄茶树生长。此外，茶园多处于高山地区，缺水

和交通不便限制了对茶树的灌溉，采用水肥一体化的模式不仅提高了施肥效率，节省人工，尤其在干旱季节能够有效保证茶树对水分的需求，在2019年秋冬季节连续5个月的干旱，采用水肥一体化的茶园茶苗存活率和产量得到有效保障。

2.3 茶园产地环境和茶叶质量安全得到保障，提升茶业竞争力

通过测土配方、有机替代及水肥一体化技术降低茶园化肥施用可有效缓解土壤环境压力，有利于保护土壤生态环境。试验点和监测点土壤分析结果（表7）表明，采用化肥减量增效施肥模式对土壤重金属含量无明显影响，均达到土壤环境一级标准<sup>[16]</sup>。茶叶重金属含量（表8）100%符合食品安全国家标准<sup>[17-18]</sup>。通过施肥模式的优化、茶园环境的改善、土壤质量的提升改善了茶叶品质，有利于茶叶的销售宣传，促进了大埔地区茶叶品牌建设，据不完全统计大埔茶叶已培育品牌 20 多个，形成了省级、市级和县级龙头企业

表 5 大埔县代表性茶园 3 种模式定点试验茶叶品质 ( n=3 )  
Table 5 Tea quality of three models at location experiment points in representative tea gardens of Dabu County (n=3)

试验点 Experiment point	处理 Treatment	茶青产量 Yield of tea green ( kg/667m <sup>2</sup> )	水浸出物 Water extract ( % )	茶多酚 Tea phyophenols ( % )	游离氨基酸 Free amino acids ( % )	酚 / 氨 Phenol/ammonia
凯达 Kaida	对照	853.1	33.34	16.69	1.95	8.56
	模式 1	952.2	44.68	20.86	2.52	8.28
屏翠山 Pinguishan	对照	719.8	32.52	22.55	2.18	10.34
	模式 1	782.0	40.23	24.66	2.41	10.23
飞马峰 Feimafeng	对照	34.9	28.61	18.34	2.17	8.45
	模式 1	36.7	33.25	22.31	2.66	8.39
凯达 Kaida	对照	896.2	35.51	19.14	1.84	10.40
	模式 2	963.1	39.87	23.00	2.98	7.72
屏翠山 Pinguishan	对照	727.1	30.08	22.40	2.15	10.42
	模式 2	807.1	33.87	24.55	2.61	9.41
飞马峰 Feimafeng	对照	33.1	32.52	20.33	2.15	9.46
	模式 2	36.7	40.23	25.10	2.82	8.90
凯达 Kaida	对照	219.8	31.07	19.36	1.82	10.64
	模式 3	257.3	33.64	19.66	2.27	8.66
屏翠山 Pinguishan	对照	730.2	33.58	21.25	2.03	10.47
	模式 3	843.8	33.54	21.05	2.18	9.66
飞马峰 Feimafeng	对照	42.0	26.88	20.82	2.03	10.26
	模式 3	46.7	29.58	22.06	2.27	9.72

表 6 大埔县代表性茶园 3 种模式定点试验茶叶效益 ( n=3 )

Table 6 Tea benefits of three models at location experiment points in representative tea gardens of Dabu County (n=3)

试验点 Experiment point	处理 Treatment	茶叶产量 Tea yield ( kg/hm <sup>2</sup> )	产值 Output value ( yuan/hm <sup>2</sup> )	施肥成本 Fertilizer cost ( yuan/hm <sup>2</sup> )	利润增加 Profit increase ( yuan/667m <sup>2</sup> )
凯达 Kaida	对照	1599	159960	4050	
	模式 1	1785	178545	10830	11805
屏翠山 Pingcuishan	对照	1350	134970	4050	
	模式 1	1467	146625	10830	4875
飞马峰 Feimafeng	对照	66	6540	2025	
	模式 1	69	6885	5415	-3045
凯达 Kaida	对照	1680	168045	4050	
	模式 2	1806	180585	12630	3960
屏翠山 Pingcuishan	对照	1363.5	136335	4050	
	模式 2	1513.5	151335	12630	6420
飞马峰 Feimafeng	对照	61.5	6210	2025	
	模式 2	69	6885	6315	-3615
凯达 Kaida	对照	1030.5	103035	4050	
	模式 3	1206	120615	9240	12390
屏翠山 Pingcuishan	对照	1369.5	136920	4050	
	模式 3	1582.5	158220	9240	16110
飞马峰 Feimafeng	对照	79.5	7875	2025	
	模式 3	87	8760	6420	-3510

注：每公顷施肥人工成本：化肥 1800 元、有机肥 3000 元、液体肥 240 元；每公顷肥料成本：对照化肥 2250 元、模式区化肥 1350 元、有机肥 7200 元、生物有机肥 9000 元、液体肥 5400 元，灌溉设备成本 4500 元，飞马峰基地施肥量为凯达和屏翠山的 50%。

Note: Labor costs of fertilization (chemical fertilizer: 1800 yuan/hm<sup>2</sup>; organic fertilizer: 3000 yuan/hm<sup>2</sup>; fluid fertilizer: 240 yuan/hm<sup>2</sup>). Fertilizer costs (costs of chemical fertilizers of CK and model area were 2250 yuan and 1350 yuan per hm<sup>2</sup>, respectively; organic fertilizer: 7200 yuan/hm<sup>2</sup>; biological organic fertilizer: 9000 yuan /hm<sup>2</sup>; fluid fertilizer:5400 yuan /hm<sup>2</sup>; irrigation equipment:4500 yuan /hm<sup>2</sup>). The fertilization amount of Feimafeng base is 50% of that in Kaida and Pingcui .

业分别为 6 家、4 家和 7 家，大埔茶叶在广东乃至全国的知名度得到快速提升。

表 7 监测点土壤重金属含量 ( n=14 )  
Table 7 Soil heavy metal contents at monitoring points (n=14)

调查时间 Investigation time	Cd ( mg/kg )	Cr ( mg/kg )	Pb ( mg/kg )	As ( mg/kg )	Hg ( mg/kg )
实施前 Before implementation	0.02	66.1	15.3	10.6	0.08
实施后 After implementation	0.02	65.8	15.5	9.8	0.08

表 8 监测点茶叶重金属含量 ( n=14 )  
Table 8 Heavy metal contents of tea leaves at monitoring points (n=14)

指标 Index	Cr ( mg/kg )	Pb ( mg/kg )	Cd ( mg/kg )	Hg ( mg/kg )	As ( mg/kg )
最小值 Minimum value	0.25	0.27	0		0.12
最大值 Maximum value	0.64	1.39	0.03		0.51
平均值 Mean	0.36	0.65	0.01		0.28
标准差 Standarddeviation	0.12	0.29	0.01		0.13
变异系数 Coefficient of variation ( % )	31.82	44.61	115.47		44.55

2.4 茶园施肥水平提升，肥料减量效果明显

通过举办茶叶化肥减量增效施肥技术培训和观摩以及田间指导39期次，培训及指导茶叶种植人员和农业技术人员2 000多人次，全面提升了茶农的施肥技术水平。根据调研统计，在有机替代、测土配方和水肥一体化集成的科学施肥模式推广中，大埔茶叶产区推广茶叶配方肥料2个，新建水肥一体化茶园面积330 hm<sup>2</sup>。如表9所示，实施化肥减量技术后（2019年）大埔县茶园有机肥用量为3 799.5 kg/hm<sup>2</sup>，较实施前（2017年）增加895.5 kg/hm<sup>2</sup>；化肥（氮磷钾折纯）为625.5 kg/hm<sup>2</sup>，较2017年减少441.0 kg/hm<sup>2</sup>；化肥（钙镁折纯）为256.5 kg/hm<sup>2</sup>，较2017年增加；化肥（氮磷钾钙镁折纯）总用量减少184.5 kg/hm<sup>2</sup>。辐射带动区域化肥减量效果明显，大埔县2017年全县化肥施用纯量20 954 t，2018年全县化肥施用纯量19 278 t，项目实施期间化肥施用纯量减少1 676 t，2019年化肥用量呈继续减少趋势，初步实现了农业农村部提出的化肥零增长目标。

表 9 大埔县茶园肥料使用情况统计 (n=35)  
Table 9 Statistics of fertilizer use in tea garden of Dabu County (n=35)

调查时间 Investigation time	肥料品种及用量 Variety and amount of fertilizer ( kg/hm <sup>2</sup> )				化肥折纯用量 Consumption amount ( convert into purification ) of fertilizer ( kg/667m <sup>2</sup> )				
	有机肥 Organic fertilizer	复合肥 Compound fertilizer	配方肥 Formula fertilizer	钙镁磷肥 Calcium magnesium phosphate fertilizer	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
实施前 Before implementation	2904.0	2370.0			355.5	355.5	355.5	0	0
实施后 After implementation	3799.5		1650.0	450.0	247.5	180.0	198.0	202.5	54.0

注：复合肥（15-15-15）、配方肥（15-6-12）、钙镁磷肥（P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 18%、CaO 45%、MgO12%）  
Note: Compound fertilizer（15-15-15）、formula fertilizer（15-6-12）、calcium magnesium phosphate fertilizer（P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 18%、CaO 45%、MgO12%）.

### 3 问题与建议

大埔作为重要的产茶区，由于施肥不科学导致茶园土壤养分不平衡，化肥超量投入造成环境风险加剧等问题需要长期的科学施肥修正，集成化肥减量增效施肥模式对于该地区茶业的健康持续发展意义重大。试验和多点推广表明，通过测土配方和有机肥替代技术可以减少化肥氮用量40%、水肥一体化条件下减少氮用量20%，同时保证茶叶稳产，改善品质，提高种植效益。而且能够提升土壤肥力、缓解土壤酸化，保证茶园土壤环境和茶叶品质安全，有利于区域茶叶品牌的建设和企业的发展，大幅提升茶业综合竞争力。通过示范观摩和培训以及网络服务的多种形式推动化肥减量增效施肥技术模式的推广，初步实现了农业农村部提出的化肥零增长的目标。然而在化肥减量增效模式的推广过程中仍然面临一些问题：（1）水肥一体化建设的一次性投资费用大、管理维护和运行对从业人员的操作水平要求高；（2）土壤检测服务社会化程度低，且由于受知识面限制，农户对土样的采集方法以及对检测结果的解读和运用掌握不够；（3）茶山交通不便，有机肥施用人力成本高，市场缺乏相应的小型施肥机械；（4）难以有效保障有机肥质量，农家肥的无害化处理程度堪忧，商品有机肥由于商家受利益驱使常以次充好，品质低劣，伤害农户使用有机肥的积极性。上述存在问题依然需要政府加大扶持力度；科研院所和培训机构创新技术培训方式方法，加大对经营主体的科技培训，增强其自身发展能力；国家从政策层面上建立起支撑现代农业发展的肥料产业体系，将提高施肥效率的施肥设施和机械纳入支持政策之中；加强有机肥监

督管理，保证有机肥质量和有效供给，为持续提升土壤质量提供政策保障。

#### 参考文献（References）：

- [1] 麻坤, 刁钢. 化肥对中国粮食产量变化贡献率的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2018,24(4): 1113-1120. doi: 10.11674/zwyf.17375.  
MA K, DIAO G. Research on the contribution rate of fertilizer to grain yield in China [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2018,24(4): 1113-1120. doi: 10.11674/zwyf.17375.
- [2] 郭见早, 崔敏, 费萍丽, 于春艳, 张传华. 茶园施肥现状与改进措施[J]. 茶业通报, 2010(2): 68-69.  
GUO J Z, CUI M, FEI L P, YU C Y, ZHANG C H. Current situation and improvement measures of fertilization in tea garden [J]. *Journal of Tea Business*, 2010(2): 68-69.
- [3] 王峰, 陈玉真, 吴志丹, 江福英, 翁伯琦, 尤志明. 酸性茶园土壤氨挥发及其影响因素研究[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(4): 808-816. doi:10.11654/jaes.2016.04.027.  
WANG F, CHEN Y Z, WU Z D, JIANG F Y, WENG B Q, YOU Z M. Ammonia volatilization and its influencing factors in tea garden soils [J]. *Journal of Agro-Environment Science*. 2016, 35(4): 808-816. doi:10.11654/jaes.2016.04.027.
- [4] 杨冬梅. 广东大埔县茶叶产业发展中存在的问题与对策[J]. 中国园艺文摘, 2016(10): 225-226.  
YANG D M. Problems and countermeasures in the development of tea industry in Dabu County, Guangdong Province [J]. *Chinese horticultural Abstracts*, 2016(10): 225-226.
- [5] 黄莹, 李雅颖, 姚槐应. 强酸性茶园土壤中添加不同肥料氮后 N<sub>2</sub>O 释放量变化[J]. 植物营养与肥料学报, 2013(6): 1533-1538. doi: 10.11674/zwyf.2013.0631.  
HUANG Y, LI Y Y, YAO H Y. Effects of different nitrogen fertilizers on N<sub>2</sub>O emissions in a highly acid tea orchard soils [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2013(6): 1533-1538. doi: 10.11674/zwyf.2013.0631.
- [6] 倪康, 廖万有, 伊晓云, 牛司耘, 马立峰, 石元值, 张群峰, 刘美雅, 阮建云. 我国茶园施肥现状与减肥潜力分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2019,25(3): 421-432. doi: 10.11674/zwyf.18078.

- NI K, LIAO W Y, YI X Y, NIU S Y, MA L F, SHI Y Z, ZHANG Q F, LIU M Y, RUAN J Y. Fertilization status and reduction potential in tea gardens of China [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2019, 25 (3): 421–432. doi: 10.11674/zwyl.18078.
- [7] 刘嘉裕, 唐颖, 黎健龙, 周波, 陈义勇. 广东茶区茶园施肥现状及发展趋势 [J]. *广东茶业*, 2019 (5): 2–6.
- LIU J Y, TANG H, LI J L, ZHOU B, CHEN Y Y. Current situation and development trend of fertilization in tea garden of Guangdong tea area [J]. *Guangdong Tea*, 2019 (5): 2–6.
- [8] 苏柱华, 李伟峰. 科技创新驱动广东现代农业发展现状分析与对策 [J]. *广东农业科学*, 2018, 45 (8): 139–147. doi: 10.16768/j.issn.1004–874X.2018.08.020.
- SU Z H, LI W F. Status analysis of Guangdong agricultural development based on scientific and technological innovation [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2018, 45 (8): 139–147. doi: 10.16768/j.issn.1004–874X.2018.08.020.
- [9] 罗跃新, 林国轩, 邓慧群, 诸葛天秋. 测土配方施肥技术在茶园上的应用研究 [J]. *现代农业科技*, 2011 (24): 83.
- LUO Y X, LIN G X, DENG H Q, ZHUGE T Q. Study on the application of soil testing and formula fertilization technology in tea garden [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2011 (24): 83.
- [10] 崔贞月, 吴玉红, 郝兴顺, 张春辉, 秦宇航, 王晓娥, 杨云霞. 不同有机氮替代部分无机氮对水稻产量及土壤微生物的影响 [J]. *西北农业学报*, 2019, 28 (10): 1689–1697. doi: 10.7606/j.issn.1004–1389.2019.10.016.
- CUI Z Y, WU Y H, HAO X S, ZHANG C H, QIN Y H, WANG X E, YANG Y X. Effects of partial replacement of chemical fertilizer by organic manure on rice yield and soil microorganisms in hanzhong basin [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2019, 28 (10): 1689–1697. doi: 10.7606/j.issn.1004–1389.2019.10.016.
- [11] 杨清霖, 杨向德, 石元值, 马立峰. 茶园滴灌与水肥一体化技术研究 [J]. *茶叶学报*, 2019, 60 (1): 32–37.
- YANG Q L, YANG X D, SHI Y Z, MA L F. Fertigation for tea plantations [J]. *Acta Tea Sinica*, 2019, 60 (1): 32–37.
- [12] 唐劲驰, 曾文伟, 唐颖, 黎健龙, 吴利荣. 滴灌施肥在有机茶园中的应用研究 [J]. *广东农业科学*, 2009 (8): 113–115. doi: 10.16768/j.issn.1004–874X.2009.08.037.
- TANG J C, ZENG W W, TANG H, LI J L, WU L R. Application research of drip irrigation and fertilization in organic tea garden [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2009 (8): 113–115. doi: 10.16768/j.issn.1004–874X.2009.08.037.
- [13] 彭智平, 黄继川, 于俊红, 彭志对, 林志军, 杨林香, 吴雪娜. 梅州地区茶园土壤肥力状况调查 [J]. *广东农业科学*, 2012, 39 (22): 1–3. doi: 10.16768/j.issn.1004–874X.2012.22.001.
- PENG Z P, HUANG J C, YU J H, PENG Z D, LIN Z J, YANG L X, WU X N. The soil fertility investigation of tea gardens in Meizhou [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, 39 (22): 1–3. doi: 10.16768/j.issn.1004–874X.2012.22.001.
- [14] 苏有健, 王焯军, 张永利, 罗毅, 廖万有. 茶园土壤酸化阻控与改良技术 [J]. *中国茶叶*, 2018, 40 (3): 9–11, 15.
- SU Y J, WANG Y J, ZHANG Y L, LUO Y, LIAO W Y. Resistance control and improvement technology of soil acidification in tea garden [J]. *China Tea*, 2018, 40 (3): 9–11, 15.
- [15] 樊战辉, 唐小军, 郑丹, 杨琴, 陈光年, 李晓文, 孙家宾. 茶园土壤酸化成因及改良措施研究和展望 [J]. *茶叶科学*, 2020, 40 (1): 15–25. doi: 10.13305/j.cnki.jts.20200117.006.
- FAN Z H, TANG X J, ZHENG D, YANG Q, CHEN G N, LI X W, SUN J B. Study and prospect of soil acidification causes and improvement measures in tea plantation [J]. *Journal of Tea Science*, 2020, 40 (1): 15–25. doi: 10.13305/j.cnki.jts.20200117.006.
- [16] 国家环境保护局. GB 15618–1995 土壤环境质量标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- State Environmental Protection Agency. GB15618–1995 Standards for soil environmental quality [S]. Beijing: China Standard Press, 1995.
- [17] 中华人民共和国农业部. NY 659–2003 茶叶中铬、镉、汞、砷及氟化物限量 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY 659–2003 Limit of chromium, cadmium, mercury, arsenic and fluoride in tea [S]. Beijing: China Standard Press, 2003.
- [18] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 2762–2017 食品安全国家标准食品中污染物限量 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission, State Food and Drug Administration. GB 2762–2017 National food safety standard Limit of pollutants in food [S]. Beijing: China Standard Press, 2017.

(责任编辑 杨贤智)