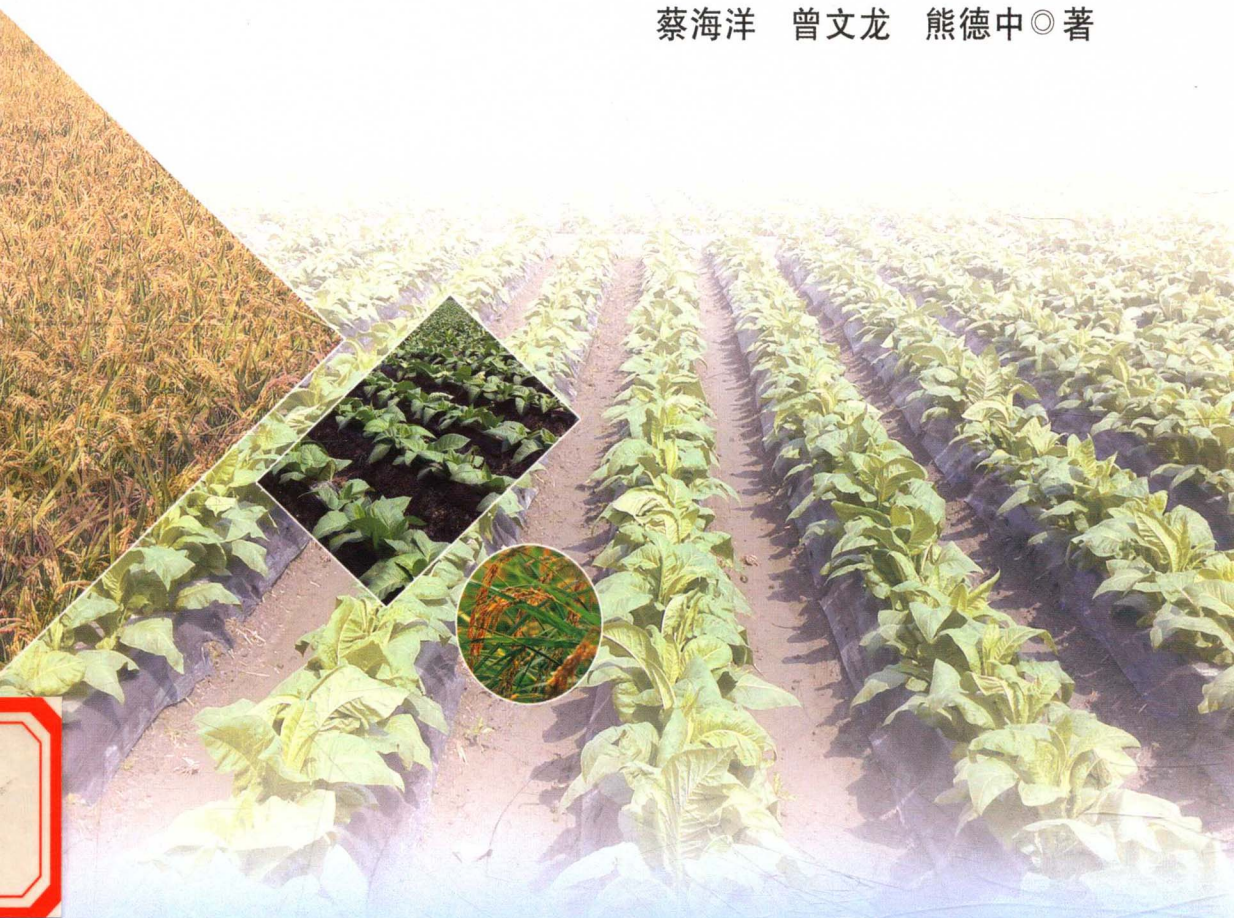


烟稻轮作系统 养分资源综合管理

Yandao Lunzuo Xitong Yangfen Ziyuan Zonghe Guanli

蔡海洋 曾文龙 熊德中◎著



 中国农业出版社

烟稻轮作系统 养分资源综合管理

蔡海洋 曾文龙 熊德中 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

烟稻轮作系统养分资源综合管理/蔡海洋, 曾文龙,
熊德中著. —北京: 中国农业出版社, 2017. 1

ISBN 978-7-109-22422-3

I. ①烟… II. ①蔡…②曾…③熊… III. ①烟叶—
轮作—耕作土壤—土壤肥力—研究②稻—耕作土壤—土壤
肥力—研究 IV. ①S344.15②S630.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 285105 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 贺志清

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2017 年 3 月第 1 版 2017 年 3 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 16.75 插页: 3

字数: 380 千字

定价: 55.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

前 言

烤烟是我国主要的经济作物，其种植面积居世界首位，产量占世界烤烟总产量的60%左右。福建是我国优质烤烟产区之一，烤烟也是福建省重要的经济作物。烟稻轮作是福建省烟区主要的轮作方式，采用烟稻轮作方式不仅可改善土壤的物理化学性质，而且可以使烟草病虫害以及田间草害发生的概率降低，进而达到粮烟双丰收的目的。但由于近年来随着高产作物品种的推广，作物复种指数的提高，作物从土壤中带走的养分增加，使土壤养分失调状况加重，影响了烟草对营养元素的吸收利用，烤烟营养不平衡的状况普遍存在。但是目前对烟稻轮作区植烟土壤的pH状况以及主要养分状况缺乏全面系统的了解，烟草种植者未能依据植烟土壤的pH状况以及主要养分的丰缺分区状况进行土壤改良和合理施肥，造成资源浪费，妨碍了烤烟、稻谷产量和质量的进一步提升。因此，探讨烟稻轮作区植烟土壤的pH以及主要养分的丰缺状况，对指导烟农改良植烟土壤、科学施肥有着重要的实践意义。

目前对烟稻轮作区植烟土壤主要矿质养分含量的时空分异缺乏研究，因此，研究烟稻轮作区植烟土壤养分的时空变异，不仅是推进精准农业得以实施的前提条件，也可为烤烟和水稻的合理施肥在理论上提供重要依据。

土壤的形态和演化过程较为复杂，相同质地类型土壤在同一时期的不同空间上其性质并不完全相同，同一空间位置不同时期的土壤的理化性质也不相同。随着烤烟生产技术水平的提高，在烤烟生产过程中对农业技术等投入的加大，施用化肥量的提高，进而出现烟稻轮作区植烟土壤养分空间分布不平衡的现象，从而制约了烤烟产量的提高和烤烟品质的改善。为了提高植烟土壤质量，减少农户在施肥过程中不合理的施肥而造成不必要的浪费，同时也是控制农业面源污染的需要，因此，必须深入了解烟稻轮作区植烟土壤pH、主要养分的时空变异情况，从而为烟稻轮作区土壤质量的提高、平衡施肥工作提供支持。在实际烤烟生产过程中，经过一段时期比较一致的施肥管理后，烟区土壤的空间变异趋于缓和，可以形成烤烟生长水平、养分利用效应等相似度较高的子区域。根据精准农业的要求，不同的子区域采用不同土壤管理方式，更有利于该区域整体烤烟产量、质量的提高。

土壤是植物吸收各种养分的媒介和载体，也是发生一系列生理生化反应的重要场所，土壤各种理化性质的变化对作物的养分吸收产生着重大的影响。

土壤的理化性质易受外界因子的影响，施肥就是其中重要影响因素之一。施肥是对土壤养分的调节和补充，但不科学的施肥方法通常会引起作物产量、质量和生态环境的下降。

肥料是农业生产的基础，著名育种学家、诺贝尔奖获得者 Borlaug N E 在全面分析 20 世纪农业生产发展的各相关因素后得出结论：“20 世纪全世界所增加的作物产量中一半是来自化肥的施用”。化肥属于农业生产资料，是我国国民经济和化学工业的重要产业之一。自 20 世纪 90 年代以来，我国化肥产量及消费量一直居世界第一，约占世界总量的 1/3。根据有关数据表明，我国是世界上施用肥料量最多的国家，每年用量达 1.05 亿 t (刘建福, 2008)，2012 年全国氮肥产量高达 4 313.3 万 t 纯氮，我国氮肥施用量约是美国的 3.3 倍。然而施入农田的化肥，因施肥技术原因，不仅造成能源浪费，而且施肥效益明显下降，以及肥料流失对环境造成的污染，给我国高产、优质、高效、可持续农业的发展带来了不利影响。为了符合农业可持续发展的方向，如何减少由于肥料损失带来的环境污染是长期以来全球共同关注的课题。目前国际上在提高肥料施用效率方面提出了“4R”技术 (Roberts T L, 2007)：正确的肥料剂型 (Right source)，正确的肥料用量 (Right rate)，正确的施肥时间 (Right time)，正确的施肥位点 (Right place) 等。不同剂型的肥料施入土壤后的溶解特性不同，养分在土壤中的迁移状况、吸附固定强度等具有明显差异，从而对作物生长产生不同影响。施肥方法的不科学是造成肥料利用率低的主要原因之一。氮肥表施易挥发损失或随雨水流失，磷、钾易被土壤固定，特别是磷在土壤中移动性小，施于地表不易被作物根系吸收利用，也不利于根系深扎，遇干旱情况肥料无法溶解，肥效更差。氮肥的移动性比磷、钾肥大，而后效却不如磷、钾肥大，一般把氮肥作追肥，磷钾肥作基肥或种肥。据 Stanley (1984) 等的研究，磷在土壤中的扩散系数很小 ($1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$)，磷的移动性也很小，通常植物根系仅能吸收距根表 1~4mm 根际土壤中的磷；对于吸附能力较强的黏质土壤，其吸收范围只有 1mm，砂质土上可扩散到离根 4mm 以外。钾在土壤中的移动性及扩散系数也较小 ($0.01 \times 10^{-5} \sim 0.24 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$)。施肥方法也会对肥料的利用产生影响，例如浅施或表施的肥料易挥发、流失或难以到达烟草根部，不利于养分的吸收，造成肥料浪费，利用率降低。但目前对不同剂型肥料、不同施肥方法对烤烟生长发育的影响、及对有效养分在土壤中分布的影响仍缺乏深入研究。

据研究磷肥施入土壤后极不易淋溶损失，虽然当季磷肥利用率偏低，但是有相当一部分磷在很长的时间内都仍然有效，这样随着磷肥的一年又一年不间断的施用，必定会不断提高土壤的供磷水平，就势必会导致土壤中营养

元素的供应状况发生改变,所以要考虑磷肥的后效。磷肥施用量过多,会影响到烤烟的产量与品质。福建烟区多为固磷能力较强的脱硅富铝化土壤,施用的磷肥不易淋溶损失,且自20世纪70年代以来,福建烟区一直极为重视磷肥的施用,土壤有效磷含量已有明显的提高。据2013年中国磷肥工业协会的研究报告,我国磷矿的经济储量仅为世界的6.2%,摩洛哥是我国的13.8倍;我国磷矿的资源量仅占世界的5.8%,摩洛哥是我国的10倍,美国也是我国的2.9倍,我国磷资源供应不容乐观。因而研究减少磷肥施用量,对合理利用磷矿资源,降低烟农生产成本的投入,提高烟叶产量和改善品质有着重要意义。

我国烟叶钾含量偏低的重要原因之一是钾肥利用率低,目前我国南方烟区的钾肥利用率一般为20%~30%,个别烟区甚至更低。钾肥利用率低,不仅造成钾资源的浪费,也增加了烟农的生产成本。国际钾矿资源充足,目前开发的钾矿资源主要分布在加拿大、俄罗斯、白俄罗斯、德国、约旦、以色列等国,这些国家储量占全球的93%,产量占89%,形成高度垄断。我国钾资源贫乏,主要依靠进口。2008年钾肥价格比2002年增加近500%。2013年中国进口的钾盐相当于600万t氯化钾,约占总消费量的一半,对外依存度近50%。提高钾肥的施用量是以往提高烟叶含钾量的最常用的方法。但从已有的研究结果看,在钾肥用量已经相对较高的情况下,单纯提高钾肥的用量已难于提高烟叶钾的含量,并易造成肥料的浪费。

我国台湾地区每隔5年,须根据区域土壤氮、磷、钾养分含量的丰缺状况,布置氮、磷、钾肥料不同配比的田间试验,根据土壤测试结果、田间试验、作物需肥规律、土壤供肥特点和农业生产要求等,提出氮、磷、钾等肥料的施用数量与配比、施肥时期和施肥方法。但是福建烟区的烤烟专用肥氮、磷、钾的配比十余年来未作出调整。

福建烟区的烟农在不同肥力的植烟土壤上不仅肥料施用模式基本相同,且专用肥的氮、磷、钾配比和用量也基本相似,不但降低了肥料利用率,而且也影响了烟株营养代谢的协调性和烟叶的内在品质。据烤烟专用肥生产厂的资料,专用肥中钾的比例降低1个百分点,每吨专用肥的生产成本下降45元左右,专用肥中磷的比例降低1个百分点,每吨专用肥的生产成本下降35元左右。因此,开展烤烟专用肥磷钾适宜配比效应的研究具有重要的生产实践意义。

根据烟稻轮作区土壤养分丰缺水平及前作施肥养分残留对后作营养的影响,对烟稻轮作系统养分资源进行综合管理和平衡调控,以改变烤烟、水稻施肥相互独立无有机联系的状况。提出烟稻轮作系统配方施肥集成技术,使

烟叶、稻米质量得以明显提高，实现节本增效，提高肥料施用效益，减少养分损失，增加烤烟、水稻的生产效益，对促进烟稻轮作区农业产业的可持续发展具有重要意义。

本书的研究工作得到福建省科技厅重大专项（2014YZ0002-1）、福建省烟草公司和龙岩市烟草公司有关课题的资助。参加本书研究工作的主要人员有：王光翔、刘欢、刘娜、李放、李明、李春英、李素兰、沈少君、吴树松、肖雄东、张颖、张欢欢、林钟麟、罗光、罗发健、郑丽红、周道金、洪雅芳、郭学清、骆园、贺鹏、钱笑杰、唐莉娜、黄碧妃、黄建明、曹睿玄、蒋代兵、彭国华、谢凤标、曾文龙、赖碧添、詹柳琪、蔡海洋、熊德中和黎炳水等。

由于受研究条件和认识水平的限制，书中错误和纰漏之处在所难免，敬请大家批评指正。

编 者

2016年10月

目 录

前言

第一章 烟稻轮作区土壤 pH 及主要养分时空变异	1
1.1 研究内容与方法	1
1.1.1 研究区概况	1
1.1.2 资料的收集和整理	1
1.1.3 2011 年龙岩烟区土壤样品的采集及测试分析	2
1.1.4 空间数据的处理	2
1.1.5 烟稻轮作区植烟土壤 pH、主要养分丰缺指标的确定	4
1.2 烟稻轮作区植烟土壤 pH、主要养分的空间变异	6
1.2.1 烟稻轮作区植烟土壤 pH 的空间变化	6
1.2.2 烟稻轮作区植烟土壤有机质的空间变化	10
1.2.3 烟稻轮作区植烟土壤氮素的空间变化	14
1.2.4 烟稻轮作区植烟土壤磷素的空间变化	21
1.2.5 烟稻轮作区植烟土壤钾素的空间变化	30
1.3 烟稻轮作区植烟土壤 pH、主要养分的时间变异	38
1.3.1 烟稻轮作区植烟土壤 pH 的时间变异	38
1.3.2 烟稻轮作区植烟土壤有机质的时间变异	40
1.3.3 烟稻轮作区植烟土壤氮素的时间变异	40
1.3.4 烟稻轮作区植烟土壤磷素的时间变异	43
1.3.5 龙岩烟区植烟土壤钾素的时间变异	45
第二章 烟稻轮作区土壤 pH 适宜性及主要养分丰缺分区	48
2.1 研究区概况	48
2.2 试验方法和步骤	49
2.2.1 样点采集	49
2.2.2 土壤样品的测试分析方法	50
2.2.3 数据预处理	50
2.2.4 统计特征值分析与地统计分析	50
2.3 试验数据分析与结果输出	51
2.3.1 烟稻轮作区植烟土壤 pH 和主要养分统计特征值分析结果与分级指标的确定	51

2.3.2	烟稻轮作区植烟土壤主要养分空间变异特征分析	54
2.3.3	烟稻轮作区植烟土壤半方差函数分析及最佳插值模型选择	60
2.3.4	烟稻轮作区植烟土壤主要养分最优克里格插值方法确定	62
2.3.5	龙岩市烟稻轮作区植烟土壤 pH 状况以及主要养分的丰缺面积统计	64
第三章	烟稻轮作区烤烟对养分的吸收及磷钾配比效应	68
3.1	烟株对肥料养分的吸收利用及土壤有效养分向烟株转移利用的研究	68
3.1.1	不同施肥处理对烟株生物产量的影响	69
3.1.2	常规施肥处理对烟株肥料利用率的影响	69
3.1.3	土壤有效养分向烟株转移利用的状况	70
3.2	烟稻轮作区烤烟磷钾配比效应	70
3.2.1	种植烤烟前后土壤有效氮磷钾含量变化情况	72
3.2.2	烟稻轮作区烤烟专用肥磷钾适宜配比的效果	73
第四章	不同施肥方法对烤烟生长及品质的效应	89
4.1	不同施肥方法对土层碱解氮、磷、钾养分分布的影响	89
4.1.1	不同施肥方法对土壤碱解氮含量的影响	92
4.1.2	不同施肥方法对土壤有效磷含量分布的影响	94
4.1.3	不同施肥方法对土壤速效钾含量的影响	95
4.2	不同施肥方法对烤烟生长发育的影响	97
4.2.1	不同施肥方法对烤烟生长的影响	98
4.2.2	不同施肥方法对烤烟吸收氮磷钾养分的影响	100
4.3	不同施肥方法对植烟后土壤速效养分的影响	104
4.3.1	不同施肥方法对植烟后土壤碱解氮的影响	104
4.3.2	不同施肥方法对植烟后土壤有效磷的影响	104
4.3.3	不同施肥方法对植烟后土壤速效钾的影响	104
4.4	黄泥田烟稻轮作区不同施肥方法对烤烟的影响	105
4.4.1	不同施肥方法对烤烟生长的影响	106
4.4.2	不同施肥方法对烤烟经济性状的影响	107
4.4.3	不同施肥方法对大田烤烟化学成分的影响	107
4.5	灰泥田烟稻轮作区不同施肥方法对烤烟生长及产量、质量的影响	108
4.5.1	不同施肥方法对烤烟农艺性状的影响	109
4.5.2	不同施肥方法对烤烟经济性状的影响	111
4.5.3	不同施肥方法对烤烟干重及氮磷钾吸收量的影响	112
4.5.4	不同施肥方法对烤烟化学成分的影响	114
第五章	不同肥料剂型对烤烟生长及品质的效应	117
5.1	不同剂型肥料对土层有效氮、磷、钾养分分布的影响	118

5.1.1 施用不同剂型肥料对土壤碱解氮含量的影响	119
5.1.2 施用不同剂型肥料对土壤有效磷含量的影响	121
5.1.3 施用不同剂型肥料对土壤速效钾含量的影响	122
5.2 不同剂型肥料对烤烟生长发育的影响	124
5.2.1 施用不同剂型肥料对烤烟农艺性状的影响	125
5.2.2 施用不同剂型肥料对烤烟干物质积累的影响	125
5.3 施用不同剂型肥料对烤烟吸收氮磷钾养分的影响	126
5.3.1 施用不同剂型肥料对烤烟含氮量、氮吸收量的影响	126
5.3.2 施用不同剂型肥料对烤烟含磷量、磷吸收量的影响	127
5.3.3 施用不同剂型肥料对烤烟含钾量、钾吸收量的影响	128
5.4 不同剂型肥料对植烟后土壤速效养分的影响	129
5.4.1 施用不同剂型肥料对植烟后土壤碱解氮的影响	129
5.4.2 施用不同剂型肥料对植烟后土壤有效磷的影响	130
5.4.3 施用不同剂型肥料对植烟后土壤速效钾的影响	130
5.5 灰泥田烟稻轮作区施用不同剂型肥料对烤烟生长及产量、质量的影响	130
5.5.1 不同剂型肥料对烟株大田长势和生育期的影响	131
5.5.2 不同剂型肥料对烤烟农艺性状的影响	132
5.5.3 不同剂型肥料对烤烟经济性状的影响	133
5.5.4 不同剂型肥料对大田烤烟化学成分的影响	133
5.6 黄底灰泥田烟稻轮作区施用不同剂型肥料对烤烟生长及产量、质量的影响	134
5.6.1 不同剂型肥料对植烟土壤氮磷钾含量的影响	135
5.6.2 不同剂型肥料对烤烟农艺性状的影响	136
5.6.3 不同剂型肥料对烤烟经济性状的影响	138
5.6.4 不同剂型肥料对烤烟干重及氮磷钾含量的影响	139
5.6.5 不同剂型肥料对烤烟化学成分的影响	140
第六章 烟稻轮作系统有机无机肥配施的定位试验效应	142
6.1 有机无机肥配施对土壤主要肥力状况的影响	143
6.1.1 有机无机肥配施对土壤微生物区系的影响	146
6.1.2 有机无机肥配施对土壤酶活性的影响	147
6.1.3 有机无机肥配施对土壤物理性状的影响	148
6.1.4 有机无机肥配施对土壤 pH、有机质及有效养分的影响	151
6.1.5 有机无机肥配施对土壤重金属含量的影响	161
6.2 有机无机肥配施对烤烟生长及产量、质量的影响	163
6.2.1 有机无机肥配施对烤烟农艺性状的影响	163
6.2.2 有机无机肥配施对烤烟根系活力的影响	165
6.2.3 有机无机肥配施对烤烟经济性状的影响	165
6.2.4 有机无机肥配施对烤烟内在化学成分的影响	166

6.2.5 有机无机肥配施对烤烟重金属的影响	168
6.2.6 有机无机肥配施对烤烟养分含量的影响	174
第七章 烟稻轮作区水稻氮磷钾不同配比的施用效应	177
7.1 不同氮磷钾配比对水稻分蘖期长势的影响	178
7.2 不同氮磷钾配比对抽穗期水稻若干生理代谢的影响	179
7.2.1 不同氮磷钾配比对水稻叶片叶绿素含量的影响	179
7.2.2 不同氮磷钾配比对水稻叶片MDA含量的影响	180
7.2.3 不同氮磷钾配比对水稻叶片可溶性糖含量的影响	180
7.2.4 不同氮磷钾配比对水稻叶片可溶性蛋白含量的影响	181
7.2.5 不同氮磷钾配比对抽穗期水稻叶片光合作用的影响	181
7.3 不同氮磷钾配比对水稻经济性状及产量结构的影响	183
7.4 不同氮磷钾配比对水稻产量、产值的影响	183
7.5 不同氮磷钾配比对成熟期水稻养分含量的影响	184
7.5.1 不同氮磷钾配比对稻谷氮磷钾含量的影响	184
7.5.2 不同氮磷钾配比对成熟期稻草氮磷钾含量的影响	184
7.5.3 不同氮磷钾配比对稻谷和稻草氮磷钾养分比例的影响	185
7.6 不同氮磷钾配比的选择	185
第八章 烟稻轮作区水稻不同施肥方法的效应	187
8.1 不同施肥方法对水稻田面水氮磷钾动态变化的影响	188
8.1.1 不同施肥方法对水稻田面水氮素含量动态变化的影响	189
8.1.2 不同施肥方法对水稻田面水磷素含量动态变化的影响	189
8.1.3 不同施肥方法对水稻田面水钾素含量动态变化的影响	190
8.2 不同施肥方法对水稻分蘖期长势的影响	190
8.3 不同施肥方法对抽穗期水稻若干生理代谢的影响	190
8.4 不同施肥方法对水稻经济性状及产值的影响	193
8.5 不同施肥方法对成熟期水稻养分含量的影响	194
8.5.1 不同施肥方法对稻谷氮磷钾含量的影响	194
8.5.2 不同施肥方法对成熟期稻草氮磷钾含量的影响	194
8.5.3 不同施肥方法对稻谷和稻草氮磷钾养分比例的影响	194
8.6 不同施肥方法对水稻肥料利用率的影响	195
8.6.1 NP、NK、PK处理对成熟期水稻养分含量的影响	195
8.6.2 不同施肥方法对水稻肥料利用率的影响	195
8.7 不同水稻施肥方法的对比	196
第九章 烤烟生产废弃物浸水及在稻田土壤中的养分释放	198
9.1 废弃烤烟茎秆浸水后的腐解及养分释放特征	201

9.1.1 废弃烤烟茎秆浸水过程干物质及有机质的流失状况	202
9.1.2 浸水过程中烤烟茎秆氮、磷、钾的流失状况	203
9.1.3 废弃烤烟茎秆浸水对水体氮磷钾及 COD 含量的影响	204
9.2 烤烟废弃物在稻田土壤中的养分释放状况	208
9.2.1 烤烟不同部位在淹水土壤中的累积减少率	209
9.2.2 烤烟不同部位在淹水土壤中的氮素释放规律	209
9.2.3 烤烟不同部位在淹水土壤中的磷素释放规律	210
9.2.4 烤烟不同部位在淹水土壤中的钾素释放规律	210
9.3 施用烤烟废弃物对稻田土壤 pH、酶、养分及水层养分的影响	211
9.3.1 施用烤烟废弃物对淹水土壤 pH 的影响	212
9.3.2 施用烤烟废弃物对淹水土壤酶活性的影响	213
9.3.3 施用烤烟废弃物对淹水土壤二价铁及三价铁的影响	215
9.3.4 施用烤烟废弃物对淹水土壤速效养分含量的影响	216
9.3.5 施用烤烟废弃物对淹水土壤表层水氮磷钾含量的影响	219
第十章 施用烤烟废弃物对作物的生产效应	223
10.1 施用烤烟废弃物对后作水稻产量和品质的效应	224
10.1.1 施用烤烟生产废弃物对水稻株高长势的影响	225
10.1.2 施用烤烟生产废弃物对水稻经济性状及产值的影响	225
10.1.3 施用烤烟生产废弃物对稻米品质的影响	226
10.1.4 施用烤烟生产废弃物对成熟期水稻养分含量的影响	227
10.1.5 施用烤烟生产废弃物对水稻肥料利用率的影响	228
10.2 废弃烤烟茎秆与餐厨垃圾堆肥化利用	229
10.2.1 堆肥过程中堆温的变化状况	230
10.2.2 堆肥过程中水分含量的变化状况	231
10.2.3 堆肥过程中 pH 值的变化状况	232
10.2.4 堆肥过程中氮成分的变化状况	233
10.2.5 堆肥过程中固相碳、氮含量的变化状况	235
10.2.6 堆肥过程中全磷、全钾的变化情况	237
10.2.7 种子发芽指数的变化状况	238
10.2.8 堆肥成品的氨基酸成分及含量状况	239
10.3 烤烟茎秆有机肥的应用效果	240
10.3.1 烤烟茎秆有机肥在空心菜上的施用效果	240
10.3.2 烤烟茎秆有机肥在苦瓜上的施用效果	241
主要参考文献	244

第一章 烟稻轮作区土壤 pH 及主要养分时空变异

植物营养主要来源于土壤养分和肥料的施用,农业生产中为了满足农作物生长的需求,以土壤养分为基础的合理经济的施肥具有其重要意义(王祎等,2012)。因此,研究烟稻轮作区植烟土壤养分的时空变异,不仅是推进精准农业得以实施的前提条件,而且对于农业面源污染的控制有着积极的作用(杨昭君,2006)。福建烟区都是实行烟稻轮作,龙岩烟区种烟历史悠久,而且龙岩烟区也是全国优质烟区之一,其烟叶以清香醇和而享誉海内外(林桂华等,2001)。因此,以龙岩烟稻轮作区植烟土壤为研究区域,根据龙岩第二次土壤普查相关资料和2001年龙岩烟区平衡施肥资料,2011年采集并测定龙岩市烟稻轮作区植烟土壤样品的理化性质、整理相关材料。运用地统计学的基本理论与GIS的空间分析技术,研究近30年来龙岩烟稻轮作区植烟土壤养分含量的时空变化规律,探明烟稻轮作区土壤pH及主要养分时空变异状况。

1.1 研究内容与方法

1.1.1 研究区概况

福建省龙岩市位于北纬 $24^{\circ}23'$ ~ $26^{\circ}02'$,东经 $115^{\circ}51'$ ~ $117^{\circ}45'$ 。东西长约192km,南北宽约182km,总面积19 050km²,占全省陆地面积的15.7%。其中山地14 964km²,丘陵3 101km²,平原985km²。地势东高西低,北高南低。境内武夷山脉南段、玳瑁山、博平岭等山岭沿东北—西南走向,大体呈平行分布。全市平均海拔652m,千米以上山峰571座。最高峰为玳瑁山区的狗子脑主峰,海拔1 811m;最低点位于永定区峰市镇芦下坝永定河口,海拔69m。龙岩市属亚热带海洋性季风气候。年平均气温18.7~21.0℃,平均降水量1 031~1 369mm,日照时数1 804~2 060h。全年气候温和,无霜期长,雨量充沛,适宜亚热带作物和林木的生长。境内溪河众多,分别属于汀江、九龙江北溪、闽江沙溪、梅江水系。集水面积达到或超过50km²的溪河共有110条,河川年径流量190亿m³。烟草作为龙岩市“六大”重点产业之一,在农业生产中发挥着重要的作用,区域内均以水稻—烤烟轮作。

1.1.2 资料的收集和整理

(1) 1982年第二次土壤普查资料的收集:收集了龙岩烟区永定区、上杭县、武平县、连城县、长汀县、漳平市6个县(市、区)的1:5万土壤图、土壤剖面样品采样点分布图,土壤普查总结,土样理化性状分析汇总数据资料等。根据龙岩烟区现有烤烟种植区域,选择具有代表性的土壤样点共354个,并收集整理354个样点的耕层土壤有机质、

pH、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾含量等数据。

(2) 2001 年龙岩烟区植烟土壤平衡施肥相关资料的收集：收集了 2001 年龙岩烟区平衡施肥数据资料（2001 年在福建省烟草公司统一部署下，龙岩烟区开展了平衡施肥工作，共测试分析了 1 362 个土壤样品的理化性状）。本次研究以第二次土壤普查 354 个代表性土壤样点分布为依据，选取与其采样点相近点的相同土壤类型的样点数据，共 360 个，收集整理了 360 个样点的耕层土壤有机质、pH、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾含量等数据。

(3) 收集了 2009 年 1：15 万龙岩市行政区图、1：15 万龙岩市土地利用现状图及数据库资料等。

1.1.3 2011 年龙岩烟区土壤样品的采集及测试分析

土壤样品的采集：采样地点以第二次土壤普查 354 个代表性土壤样点分布为依据，选取与其采样点相近点的相同土壤类型的样点 366 个，采集耕层土壤。2011 年 12 月采样时，采用 GPS 定位记录了样点的地理坐标，经 Arcview 投影转换后生成 2011 年龙岩烟区植烟土壤采样点分布图（图 1-1）。

土壤样品的测试分析项目及方法：测试分析项目包括：土壤 pH、有机质、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾和速效钾。测试分析方法见表 1-1。

表 1-1 土壤理化性质测定方法及依据

测定项目	测定方法	测定依据
pH	电位法	NYT 1121.2—2006 土壤 pH 的测定
有机质	重铬酸钾容量法—外加热法	土壤农化分析，P34~35
全氮	半微量开氏法	土壤农化分析，P44~49
有效氮	碱解扩散法	土壤农化分析，P56~58
全磷	高氯酸—硫酸法	土壤农化分析，P74~76
有效磷	0.5mol/L NaHCO ₃ 法	土壤农化分析，P81~83
全钾	HF—HClO ₄ 法	GB 7854—1987 森林土壤全钾的测定
速效钾	NH ₄ OAC、火焰光度法	土壤农化分析，P106~108

1.1.4 空间数据的处理

数据分析采用传统统计学和地统计学相结合的方法。统计分析采用 SPSS 18 和 Excel 2007 统计软件完成，其中半方差函数模型拟合在 GS+9.0 中实现，克里格插值和插值图绘制选择在 ArcGIS 9.3 软件完成。在得出龙岩烟区植烟土壤 3 个时段的土壤 pH、主要养分和 2011 年龙岩烟区植烟土壤重金属空间分布图的基础上，通过 Arcgis 软件功进一步得出主要养分的时空变异状况。

对所研究区域的不同时期的土壤样品应用 Geostatiscal Allalyst 模块中的 Explore Data 工具中的 Histogram 和 Normal QQplot 进行正态分布检验，GS+9.0 软件进行半方

差模型的拟合和地统计学分析,运用 Geostatistical Wizard 中的 Kriging 分析模块进行克里格插值(如不符合克里格插值要求,一般选用反距离权重插值),制作土壤 pH、主要养分、重金属的插值空间分布图。将利用克里格插值方法得到的 1982 年、2001 年和 2011 年土壤 pH、主要养分赋值到耕地图斑上,然后建立研究区耕地土壤 pH、主要养分数据库,最终出图。其中区耕地样点以研究区龙岩烟区各县(市)级耕地(除旱地、菜地)实际样点为控制样点,对土壤 pH、主要养分丰缺分区后的栅格图层进行样点评差,最终确定 1982 年、2001 年、2011 年 3 个时期土壤 pH、主要养分的空间分布图。



图 1-1 龙岩烟区植烟土壤采样点分布

1.1.5 烟稻轮作区植烟土壤 pH、主要养分丰缺指标的确定

pH 值是土壤酸碱性的反映，土壤的酸碱度直接影响着植物对营养元素的吸收，随着植烟土壤酸碱度研究的深入，已引起越来越多的关注。前人研究表明（杜舰等，2009；李念胜等，1986），当土壤 pH 过低，微量元素的有效性较低；当土壤 pH 过高，则不利于大量元素的吸收。植烟土壤 pH 值过高或过低均不利于烟叶对土壤矿质营养的吸收，不利于烤烟体内碳氮的代谢，进而影响烟叶的生长状况。本研究参考《中国烟草栽培学》（中国农业科学院烟草研究所，2005）提出的适宜烟草生长的 pH 值范围为 5.0~7.0，其中最适宜烟草生长的 pH 值范围为 5.5~6.5，因此龙岩市植烟土壤 pH 值分级指标按表1-2 来划分。

表 1-2 烟稻轮作区植烟土壤 pH 值分级指标

植烟土壤 pH 值分级指标	不适宜（强酸性）	<5.0
	适宜（弱酸性）	5.0~5.5
	最适宜	5.5~6.5
	适宜	6.5~7.0
	不适宜（碱性）	>7.0

土壤质量的评价中，土壤有机质是一个重要的指标。土壤有机质对于土壤的氮素、磷素的供应较明显，因此土壤有机质是土壤供氮能力的重要指标。土壤有机质含量影响土壤的理化性质和肥力水平，进而影响烟叶的生长发育。土壤有机质过高或过低均不利于烟叶的生长，只有烟区土壤有机质在适宜的范围内才能利于优质烤烟的形成。因各地区烤烟种植的自然环境（气候、土壤、地形等）有所不同，各国家和地区对于烟区有机质丰缺指标也不同。美国一般认为 10~25g/kg 适合烤烟生长；津巴布韦、巴西等国认为一般土壤有机质不高于 20g/kg；我国南方烟区土壤有机质以 15~30g/kg 为宜（陈朝阳等，2011）。根据《中国烟草栽培学》（中国农业科学院烟草研究所，2005）中提到：“种植烤烟土壤的有机质适宜含量，以各地中等肥力水平土壤的有机质含量作为衡量指标”以及南方烟区土壤有机质以 15~30g/kg 为宜，结合龙岩烟区土壤有机质实际情况划分土壤有机质含量的丰缺指标（表 1-3）。

表 1-3 烟稻轮作区植烟土壤有机质含量丰缺指标

植烟土壤有机质丰缺指标（g/kg）	缺乏	<15
	潜在缺乏	15~20
	中等	20~30
	丰富	>30

氮是植物生长必需的主要营养元素，它的多少对烤烟的产量和品质影响最大。不管植烟土壤类型如何，含氮量多少，要得到适当产量和优良品质的烟叶，都必须施用氮肥。烤

烟缺氮时，表现为烟株的生长缓慢，植株瘦弱；而如果烤烟施肥过多，会导致烤烟疯长、植株高大、叶色深绿、叶片变厚品质较差（胡国松等，2000）。本文参考洪晓薇（2006）、贺鹏（2008）等相关研究结论，结合龙岩烟区当地实际情况，来划分龙岩烟区植烟土壤全氮、碱解氮的丰缺状况（表 1-4）。

表 1-4 烟稻轮作区植烟土壤氮素含量丰缺指标

植烟土壤全氮丰缺指标 (g/kg)	缺乏	<1.0
	潜在缺乏	1.0~1.5
	中等	1.5~2.0
	丰富	>2.0
植烟土壤碱解氮丰缺指标 (mg/kg)	缺乏	<130
	潜在缺乏	130~160
	中等	160~200
	丰富	>200

磷是重要的生命元素，在生物体的繁育和生长中起着不可替代的作用。它是烤烟必需的营养元素，在烤烟体内是许多有机化合物的组成成分，并以各种方式参与生物遗传信息和能量传递，对促进烤烟的生长发育和新陈代谢十分重要。烤烟的产量和品质均同磷素营养状况密切相关（胡国松等，2000）。龙岩烟区位于亚热带地区，烤烟生长期降水丰富，土壤的淋溶作用较强，使得土壤磷素容易被固定。本研究参考陈雪芸（2007）、贺鹏（2008）等相关研究结论，结合龙岩烟区当地实际情况以划分龙岩烟区全磷、有效磷的丰缺状况（表 1-5）。

表 1-5 烟稻轮作区植烟土壤磷含量丰缺指标

植烟土壤全磷丰缺指标 (g/kg)	缺乏	<0.35
	潜在缺乏	0.35~0.45
	中等	0.45~0.65
	丰富	>0.65
植烟土壤有效磷丰缺指标 (mg/kg)	缺乏	<10
	潜在缺乏	10~20
	中等	20~35
	丰富	>35

钾是所有植物必需的营养元素。在烤烟中它是含量最丰富的阳离子，而且在许多情况下钾甚至是烤烟体内含量最高的矿质元素，超过了氮的含量。在植物所需要的营养元素中，钾是公认的品质元素，施氮肥所产生的对品质的不良影响，通常可以通过施用钾肥得到不同程度的克服。钾肥除了对产量的影响外，对烤烟而言，钾肥对品质的改善更加的显著（胡国松等，2000）。本研究参考王毅（2007）、贺鹏（2008）等相关研究结论，结合龙岩烟区当地实际情况，来划分龙岩烟区全钾、速效钾的丰缺状况（表 1-6）。