

青岛农业大学 广东省烟草南雄科学研究所专业（学术）著作

提高烟叶田间耐熟性及 改善香气品质综合技术开发

◎ 丁效东 王 军 著



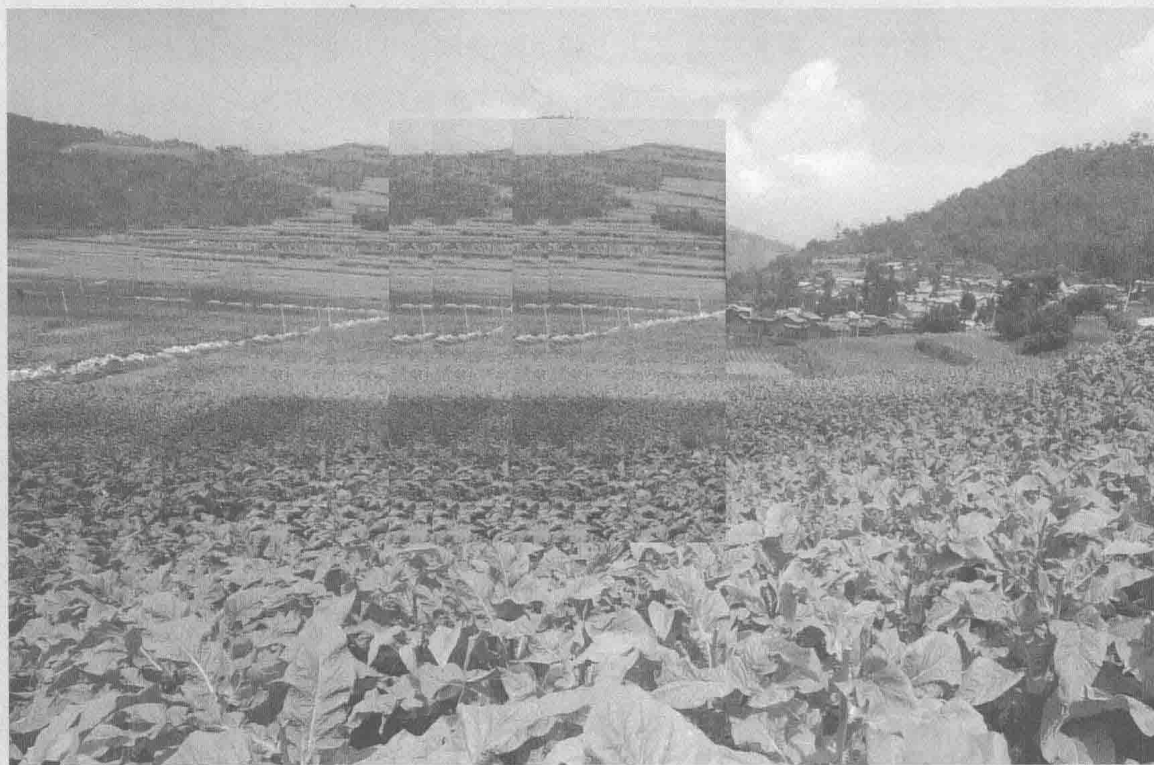
中国农业科学技术出版社

非外借

青岛农业大学 广东省烟草南雄科学研究所专业（学术）著作

提高烟叶田间耐熟性及 改善香气品质综合技术开发

◎ 丁效东 王 军 著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

提高烟叶田间耐熟性及改善香气品质综合技术开发 / 丁效东, 王军著. —
北京: 中国农业科学技术出版社, 2018. 4
ISBN 978-7-5116-3604-1

I. ①提… II. ①丁…②王… III. ①烟叶-栽培技术-研究 IV. ①S572

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 071918 号

责任编辑 崔改泵 李 华

责任校对 贾海霞

出 版 者 中国农业科学技术出版社
北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 82109708 (编辑室) (010) 82109702 (发行部)
(010) 82109709 (读者服务部)

传 真 (010) 82106650

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 各地新华书店

印 刷 者 北京建宏印刷有限公司

开 本 787mm×1 092mm 1/16

印 张 16.75

字 数 400 千字

版 次 2018 年 4 月第 1 版 2018 年 4 月第 1 次印刷

定 价 86.00 元

前 言

随着广东烟草新品种、新技术加速推广应用，烟叶生产技术水平不断提升，而决定烟叶品质最基本和最核心的要素——香气质稍差和香气量不足仍然困扰当前烟叶生产。另外，粤北烤烟育苗阶段在 11 月上旬至次年 3 月下旬，苗期温度偏低，光照不足；移栽期易遭受低温、阴雨天气，烟株生长缓慢、伸根期偏长；团棵期气温上升，烟株生长较快，现蕾期—旺长期偏短，烟叶干物质积累不够，内含物不充实；成熟期气温偏高，光照过强，降水量偏多，出现“高温逼熟”现象，烟叶落黄较快、耐熟性较差，烟叶假熟，烟叶成熟期偏短，主要原因是田间烟叶耐熟性较差，田间烟叶养不住成熟度，田间烟叶不能正常成熟。

通过烟叶质量评价发现，同一气候、相同品种及栽培管理下，广东南雄烟区酸性沙泥田烟叶香气质及香气量优于偏碱性牛肝土田烟叶，梅州烟区也有相同现象。造成烟叶香气质稍差和香气量不足可能是烟区酸性沙泥田自身的缺陷所致。通过土壤调查发现，与紫色页岩发育的紫色土相比，沙泥田土壤呈酸性、碳氮比失调、钾离子含量偏低及镁、硼缺乏，同时存在“重施化学肥料、少施有机肥或 C/N 低的商品有机肥、几乎不施中微量元素”“氮肥施用量偏大、氮钾比例不合理”等问题，旺长期烟叶缺钾、镁、硼症状时有发生。

本书针对广东烟区酸性沙泥田土壤自身的缺陷，改善烟叶香气质粗糙和香气量不足的需求，开展了改善梅州烟区沙泥田烤烟相关施肥（土壤碳氮比调控、有机无机配施、碳氮优化供氮、供钾及钾、镁、硼配施技术）技术研究、集成与示范；调研分析粤北烟区烤烟田间烟叶不耐熟的原因，初步明确影响田间烟叶耐熟性的障碍因子，开展相关施肥栽培技术研究，集成提高烟叶田间耐熟性及改善香气品质综合技术，希望本书的出版能为广东烟叶生产提供技术指导，同时对其他烟区开展烟叶生产及管理有借鉴作用。

本书在成书、出版及之前的大量准备工作中，青岛农业大学、广东省烟草南雄科学研究所、广东省烟草专卖局（公司）等单位领导及有关同志给予了充分的关心、支持。本著

作由丁效东（青岛农业大学）负责数据整理及撰写工作（40万字）；王军（广东省烟草南雄科学研究所）负责技术集成并提供大量写作材料，对全书进行了修改与校对，正是有了大家的共同努力，才使本书得以顺利出版，在此向大家致以最真诚的感谢！

由于水平所限，书中难免有错漏之处，敬请广大读者不吝指正，以期在今后的烟叶生产施肥工作中做得更好。

著者

2018年2月于青岛

目 录

1 改善沙泥田烤烟香气品质的优化施肥技术.....	1
1.1 绪论	1
1.2 有机碳施入（碳氮比调控）改善沙泥田类土壤中烤烟香气品质技术研究	5
1.3 基于 C/N 优化下改善沙泥田类土壤中烤烟香气品质的供氮技术研究	19
1.4 有机肥与钾肥配施提高沙泥田类土壤中烤烟香气品质技术研究	31
1.5 改善沙泥田烤烟香气品质的优化供钾技术研究	49
1.6 基于有机肥（碳氮调控）优化下提高沙泥田烤烟香气品质的钾、镁、硼 供应技术研究	62
1.7 改善梅州烟区沙泥田土壤烤烟香气品种优化施肥技术示范	70
2 烟叶田间耐熟性指标体系研究	74
2.1 烤烟耐熟性研究进展	74
2.2 烟叶田间耐熟性指标体系研究	79
2.3 氮素运筹对大田烟株耐熟性调控的研究	96
2.4 有机营养对烤烟大田耐熟性的影响	109
2.5 结论与展望	122
3 提高烟叶田间耐熟性综合生产技术开发与示范	125
3.1 背景意义	125
3.2 南雄烟区烤烟耐熟性现状及障碍因子分析	127
3.3 烟叶田间耐熟性指标体系研究	138
3.4 烟垄培土耦合土壤增碳对大田烟株生长发育及叶片成熟衰老过程的 影响	152

3.5 有机营养对烤烟大田生长发育及成熟衰老的影响	176
3.6 氮素运筹对大田烟株生长发育及成熟衰老的影响	187
3.7 不同生育期水分亏缺对烤烟物质积累及成熟衰老生理特性的影响	199
3.8 移栽期与种植密度对烤烟生长发育、物质代谢及成熟衰老的影响	212
3.9 种植密度与施氮量对烤烟生长发育、物质代谢及成熟衰老的影响	220
3.10 提高烟叶田间耐熟性综合生产技术集成与示范.....	233
3.11 提高烟叶田间耐熟性（示范）生产技术方案	244
参考文献	249

1 改善沙泥田烤烟香气品质的优化施肥技术

1.1 绪论

1.1.1 研究背景

烟叶的香气 (aroma) 指烟气本身所固有的烟草特有的芳香。香气质 (quality of aroma) 是指香气的优劣程度和风味特点, 香气量 (volume of aroma) 是指香气的多少或浓淡 (丰满) 程度。在近些年的全省烟叶质量评价工作中, 发现广东南雄市、始兴县和梅州市 (五华县) 在同一气候、同一品种 (当前的主栽品种) 和同一栽培调制技术条件下, 紫色土类土壤 (旱坡地、牛肝土田) 和沙泥田类土壤两种类型土壤的烟叶香气质和香气量差异明显, 表现为相对于紫色土类土壤, 沙泥田类土壤生产的烟叶香气质稍差、量不足、欠透发 (广东省烟叶质量评价工作)。由于烟叶香气质和香气量是由多种香气成分的组成、含量、比例及相互作用所决定的, 且与烟叶生产的生态气候、基因型及栽培调制技术密切相关。结合近几年全省土壤调查工作结果, 推测造成这种沙泥田类土壤生产的烟叶香气质稍差、香气量不足、欠透发的主要原因之一可能为该类土壤自身的理化特点所致。

土壤除为大田烟株提供物理支撑外, 更重要的是为烟株大田正常生长发育提供水分及其自身和施肥输入的矿质营养元素, 共同为烟株提供营养, 满足烟株的正常生长发育, 形成烟叶的产量和质量。紫色土类土壤 (旱坡地和牛肝土田) 其特有的自身土壤理化性状造就了烤烟较好的香气质和透发浓郁、香气量足的香气特征; 而沙泥田类土壤是当前广东省烤烟种植面积最大的一类土壤, 梅州烟区烤烟种植的土壤几乎全部为此类土壤, 其先天与紫色土类土壤在成土母质、理化性状等方面存在着巨大差异, 在各类土壤施肥技术同质化的条件下导致了烤烟的香气质稍差、香气量不足、欠透发。一般来说, 生态气候条件是相对固定的, 适宜性烤烟品种的选育和筛选进程较慢、周期较长, 而通过优化施肥技术这种简单易行的方法以改善土壤的理化性状、均衡烟株营养, 达到改善烟叶的香气质提高烟叶

的香气量的目的。

1.1.2 研究进展

香气是评价烟叶和卷烟质量的核心内容和指标之一,改善烟叶香气质,提高香气量一直是烟草农业科学研究的重要目标。生态和品种、栽培技术措施、采收调制技术等都会对烟叶的香气产生重要的影响。在烤烟目前的栽培技术体系中,施肥是影响烟叶产量、产值及经济性状的关键因子,同时也是烟叶香气风格特色的重要保障。王东胜指出,施肥对烟叶产量、产值、香气味的贡献分别为39.19%、47.28%和24.8%。因此,在特定的生态和品种条件下,施肥成为调控烟叶产量和品质的核心手段。

1.1.2.1 有机肥与烟叶香气的关系

近年来,随着我国烟草农业集约化、规模化、组织化程度不断提升,烤烟生产过程中对土壤的高强度、掠夺性利用,导致土壤板结、酸化、耕层浅薄、碳氮比及养分失衡等问题尤为突出,烟叶的香气质、香气量及其风格特征难以进一步得到改善、提高和彰显。作为一种完全肥料,有机肥不仅含有大量的有机物质、植物所需的各种营养元素,还含有维生素、激素、酶、生长素、泛酸等植物生长活性的前体物质。烟田以覆盖的方式施用水稻秸秆,可有效改善烟田小气候环境。适量施用有机肥,利于土壤有机、无机复合体性质的改善和水稳性团粒结构的形成,从而使土壤疏松多孔,土壤容重变小,土壤通气性和持水性增强,土壤熟化程度提高,耕性变好,增加土壤微生物数量和土壤酶活性,保持土壤肥力和改善土壤有机质品质,总体上改善了土壤的物理化学和生物学特性,提升了土壤综合肥力。许多研究表明,适量施用有机肥可提高烟叶的香气量并改善香气质。据陶芾等测算,我国烤烟生产中投入烟田有机肥的氮占总施氮量的12.35%,其中南方烟区为9.30%,低于北方烟区的15.40%。广东烟区历史上在烤烟种植中有施用饼肥和猪厩肥的传统,并一直延续至今,当前每年投入有机氮肥约469t,占总施氮量的11.63%。由此可见,以施用适量有机肥来改良植烟土壤和改善以香气质和香气量为核心的烟叶品质已成为我国烤烟生产中的一项重要的传统技术措施。然而值得注意的是,我国有超过一半植烟土壤有机质含量偏高($>25\text{g/kg}$),而烟株收获后各器官中的氮有60%以上来源于土壤氮。因此,烤烟生产实际中有机肥施入不当很有可能因大田生育后期土壤供氮较多而引起品质下降。

1.1.2.2 氮素与烟叶香气的关系

优质烤烟产量和质量的形成与氮素的用量及施用时期密切相关。烤烟正常的大田生长需要前期足够的氮素供应,后期烟株达到生理成熟时,氮素供应源逐渐枯竭,确保正常的成熟落黄。研究表明,在一定的范围内,随着施氮量的增加,烟叶中类胡萝卜素类中性致香物、新植二烯含量增加,棕色化产物类、类西柏烷类中性致香物含量降低,苯丙氨酸类

中性致香物的变化不明显。上部叶总酚、绿原酸、类黄酮等多酚类物质含量随施氮量的增加而增加。施氮量 $67.5\text{kg}/\text{hm}^2$ 时烟叶致香物质总量高于施氮量 $60\text{kg}/\text{hm}^2$ 处理, 而施氮量 $60\text{kg}/\text{hm}^2$ 时烟叶物理性状较好, 不同程度地提高了类西柏烷类、类胡萝卜素类和棕色化产物类致香物质含量, 化学成分和致香物质的组成较为协调, 感官评吸香气质纯净, 香气量较足。氮、磷、钾三要素中, 与不施肥相比, 单施氮、磷、钾任意一种或两种肥料配施可以不同程度改善烟叶化学成分, 提高烟叶中油醚提取物、类西柏烷类和类胡萝卜素类致香物质含量; 氮、磷、钾 3 种配施随着施肥量的增加, 烤烟石油醚含量也随着增加, 而致香物质含量呈现先增后减的抛物线现象。成熟期适度氮素调亏 (75% 和 50%), 烟叶发育良好, 能保证后期烟叶适时落黄和充分成熟, 化学成分较为协调, 能明显提高新植二烯、类胡萝卜素降解产物及苯丙氨酸裂解产物类中性致香物质, 石油醚提取物含量也相对较高, 感官质量较好, 浓香风格显著, 成熟期氮素供应的减弱是烟叶质量彰显的基础。打顶前不同氮素营养水平协同打顶后同量调亏下, 中部叶中, 高氮的类胡萝卜素类、苯丙氨酸类、棕色化产物类、新植二烯及中性致香物质总量均高于其他处理; 上部叶中, 随着施氮量增加, 类胡萝卜素类、苯丙氨酸类、棕色化产物类、新植二烯及中性致香物质总量表现出先增后降的趋势; 上部叶的茄酮含量随着施氮量的增加, 其含量下降显著。氮肥对烟叶香型风格的化学物质基础影响, 基因型间差异明显。莫志琴等在河南驻马店烟区研究表明, ‘优选一号’ 在高氮肥水平下、‘NC89’ 在中高氮肥水平下均能得到化学成分协调、致香物质丰富的烟叶, 而 ‘云烟 87’ 在 3 个氮肥水平 ($30\sim 90\text{kg}/\text{hm}^2$) 下均能得到质量较好的烟叶。中氮水平下, 各高香气烤烟新品系 ‘8306’、高香气杂交种 ‘Y892’ 和常规烤烟品种 ‘K326’ ‘中烟 100’ 类胡萝卜素含量最高, ‘8306’ 和 ‘Y892’ 类胡萝卜素的积累速度要高于 ‘K326’ 和 ‘中烟 100’, 中氮处理的叶面分泌物含量在各个叶龄期均高于低氮处理和高氮处理, ‘8306’ 和 ‘Y892’ 在中部烟叶叶面分泌物含量最高期高于 ‘K326’ 和 ‘中烟 100’, 不同基因型烤后烟叶中性香气基础物质总量, 随氮用量增加 ‘8306’ 的含量升高, ‘K326’ 的含量降低。在定氮 ($75\text{kg}/\text{hm}^2$) 条件下, 不同硝态氮比例与挥发性香气物质间均存在不同程度的正相关关系。对下部叶, 硝态氮比例与美拉德反应产物的相关系数达到了极显著水平; 对中部叶, 硝态氮比例与新植二烯及挥发性香气物质总量的相关系数均达到极显著水平, 与美拉德反应产物及西柏烷类降解产物的相关系数也均达到显著水平; 对上部叶, 硝态氮比例与美拉德反应产物及西柏烷类降解产物的相关系数均达到极显著水平, 与芳香族氨基酸代谢产物的相关系数也达到显著水平。

1.1.2.3 钾素与烟叶香气的关系

钾在烟草体内以游离状态存在, 是烟草体内 60 多种酶的活化剂, 可增加糖类和各种色素类物质的合成能力, 促进芳香物质的合成和积累, 有效改善烟叶的香气质和提高香气量, 提升烟叶的安全性。烤烟钾含量与烟叶的中性香气物质、非挥发性有机酸和挥发性有

机酸呈显著正相关关系,施用钾肥可提高烟叶钾含量,进而提高烟叶的香气量,改善香气质。镁是叶绿素合成必须的矿质元素,与烟草的光合作用、糖酵解过程、三羧酸循环和呼吸作用密切相关,一般占干重的0.48%~0.98%。正常情况下,烟株55.3%的镁积累是在团棵期完成的,旺长期前烟株镁积累量与烟株的根系活力显著正相关。基于钾、镁之间的相互拮抗作用,生产实践中容易导致因土壤镁含量较低或重视钾的施用而导致烟株缺镁的现象。我国多数烟区的镁肥大田试验结果皆验证了适量施用镁肥可不同程度提高烟叶的产量和改善烟叶品质,在广东梅州沙泥田烟区提高钙镁磷肥的施用比例,烤烟的产量、产值、均价、上等烟率等也相应提高。麻沙泥田适量施入镁肥具有提高烟苗株高和叶片数,促进其生长的效果,并具有提高烤烟产量、上等烟叶比例、上中等烟叶比例和产值的作用。

1.1.1.2.4 硼素与烟叶香气的关系

我国长江以南分布着世界上最广大的连续缺硼耕作带,大部分土壤热水溶性硼含量低于0.25mg/kg,此耕作带正是中国优质烤烟主要种植区。烤烟对硼的吸收以硼酸(H_3BO_3)的形式吸收。大量研究表明,硼缺乏可影响植物对氮的吸收和转运、氨基酸合成及组分、硝酸还原酶活性等氮代谢过程,植物体内淀粉和其他碳水化合物含量增加,影响了农作物品质的形成。我国烟区许多试验研究表明,施用硼肥对烟叶产量、上等烟率、均价以及品质等指标都有明显的提高,但有关硼素与烟叶香气的直接关系方面的报道较少。

1.1.3 问题提出及解决思路

随着现代烟草农业建设深入推进而采用的新品种、新技术、新成果加速推广应用,广东梅州烟区烟叶生产的“三化”水平得到不断提升,然而决定烟叶品质最基本和最核心的要素——香气质稍差和香气量不足的问题至今仍然困扰着当前该地区的烟叶生产。

笔者在从事该地区土壤调查、烟叶质量评价及日常技术服务工作中,注意到以下几个方面的问题。

一是每年全省烟叶质量评价工作中,发现同一气候条件和相同的品种及栽培管理技术下,广东南雄烟区酸性沙泥田和偏碱性的牛肝土田所产的烟叶质量对比,后者在香气质及香气量上明显优于前者;广东梅州烟区在五华县也出现了同样的现象。据此推测,造成梅州烟区烟叶香气质稍差和香气量不足的主要原因之一可能是该烟区酸性沙泥田自身的缺陷所致。

二是在开展土壤调查工作中,发现与紫色页岩发育而来的紫色土相比,因成土母质的差异而导致梅州烟区沙泥田土壤的酸性反应、土壤碳氮比失调、钾离子含量偏低及缺乏镁、硼等特征。

三是在日常技术服务工作中发现,梅州烟区存在着“重施化学肥料、少施有机肥或C/N低的商品有机肥、几乎不施中微量元素”“氮肥施用量偏大、氮钾比例不合理”等问题,在旺长期,烟株缺钾、缺镁、缺硼症状时有发生。

基于上述问题,由广东烟草梅州市有限公司牵头在省局公司立项,拟通过施肥技术的改变来弥补梅州烟区酸性沙泥田土壤自身的缺陷,并改善由此而导致的烟叶香气质粗糙和香气量不足的问题。

1.2 有机碳施入(碳氮比调控)改善沙泥田类土壤中烤烟香气品质技术研究

1.2.1 引言

有机肥改良土壤及改善烟叶品质的作用已被多数试验研究和实践生产所证实,然而,关于有机肥的碳氮比问题却较少引起人们的重视。

当前我国烤烟生产中常用不同碳氮比的有机肥,其有机质、腐殖酸、各种矿质营养、生物活性物质等方面都存在着不同程度的差异。吴峰等研究表明,随着碳氮比提高,有机肥中总腐殖酸和游离腐殖酸含量增加,水溶性腐殖酸降低,但碳氮比(25~30):1之间差异很小;不同碳氮比有机肥中腐殖酸在官能团上存在差别,碳氮比20:1的有机肥中碳水化合物(或多糖)和羧酸等含氧基团要明显多于其他比例有机肥。

土壤微生物是土壤的重要组成部分和最活跃的部分,是所有进入土壤的有机物质的分解者和转化者,参与有机质的矿质化、腐殖化过程,其多样性和生物量与土壤微生物碳量密切相关。土壤微生物在参与有机肥的分解和转化过程中与有机肥的碳氮比密切相关,不同有机物料因其碳氮比差异而导致土壤中不同阶段烟株可利用的速效养分含量不同,进而影响了烟株的生长发育及最终烟叶的香气和香型。

此外,土壤中的生物化学反应几乎都是在酶的参与下进行的,土壤酶的酶促生化反应过程直接影响到土壤有机物质的转化、合成过程。反之,有机肥的施入通过其自身带有的具生物活性的酶和提供酶促生化反应的基质等途径而不同程度提高土壤中多种酶的活性,进而对土壤养分的转化、有效性的提高和能量的代谢产生影响。研究表明,饼肥与化肥各半配施在显著提高土壤微生物量碳和氮含量的同时,可提高土壤脂肪酶、转化酶和脲酶活性,改善烤后烟叶的香气质,提高香气量。由于有机肥与土壤酶间的相互关系与有机肥的种类(碳氮比)、腐熟程度及土壤类型等多种因素有关,因此,这为通过不同碳氮比的有机肥调控土壤酶活性及烟株营养过程提供了理论上的依据。

本部分针对广东梅州烟区因土壤缺陷而导致烟叶香气质稍差、香气量不足的问题,探讨不同C/N有机肥配施对烤烟不同生育期根际微生物种类、数量、比例及土壤酶活性和烟叶香气质和香气量的影响,阐明不同碳氮比有机肥介导土壤酶催化反应对烤烟根际养分

转化过程对烤烟香气提高和改善的机理,为广东梅州烟区合理施用有机肥以改良土壤和改善烟叶香气质,提高香气量提供依据。

1.2.2 材料与方法

1.2.2.1 试验材料

供试烤烟品种为‘云烟87’,由广东烟草粤北烟叶生产技术中心(广东省烟草南雄科学研究所)提供。试验于2012年度在梅州市蕉岭县广福镇开展,试验田土壤类型为沙泥田,前茬作物为水稻;在上茬水稻收割后未起垄前,采用5点4分法取20cm耕层土壤样品测定其土壤基本农化性状:pH值6.15,有机质16.8g/kg、速效氮130.46mg/kg、速效磷34.79mg/kg、速效钾96.63mg/kg。

供试肥料为硝酸铵(N 30%)、钙镁磷肥(P_2O_5 12%)、硫酸钾(K_2O 50%)、腐熟花生饼肥(N 4.60%, P_2O_5 1.00%, K_2O 1.00%, C/N=10.65)和腐熟猪厩肥(N 0.50%, P_2O_5 0.20%, K_2O 0.25%, C/N=94.5)。

1.2.2.2 试验设计

试验设6个处理,分别为 T_1 :氮施用量为7.0kg/666.7m²,全部来自无机氮,不施用有机氮; $T_2 \sim T_6$:施氮量为11.3kg/666.7m²,其中有机氮为4.3kg/666.7m²;6个处理的 P_2O_5 施用量全部为12.1kg/666.7m², K_2O 施用量全部为25.7kg/666.7m²。试验用不同C/N有机肥采用当地腐熟花生饼肥和猪厩肥配制,各试验处理见表1-1。

表 1-1 各处理无机氮、有机氮施用量设置

处理	无机氮 (kg/ 666.7m ²)	有机肥 碳氮比 (C/N)	有机氮					
			花生饼肥			猪厩肥		
			纯氮 (kg/ 666.7m ²)	含氮 量 (%)	折合花生饼 (kg/ 666.7m ²)	纯氮 (kg/ 666.7m ²)	含氮 量 (%)	折合猪厩肥 (kg/ 666.7m ²)
T_1		0	0.00		0.00	0.00		0.00
T_2		5	4.30		40.00	0.00		0.00
T_3	7.00	15	3.01	4.60	28.00	1.29	0.50	150.00
T_4		25	2.15		20.00	2.15		250.00
T_5		36	1.29		12.00	3.01		350.00
T_6		52	0.00		0.00	4.30		500.00

试验采用随机区组设计,每小区种植1行,行距×株距=1.2m×0.6m,每处理3次重复,共18个小区。其他栽培及田间管理措施按照当地习惯进行。每个处理重复3次,共18个小区。

1.2.2.3 测定方法

在烤烟大田生育期内（团棵期，移栽后 30d；旺长期，移栽后 45d；现蕾期，移栽后 60d；成熟期，移栽后 90d）分次采用抖落法取根际土壤样，其中一部分新鲜土样装入自封袋中带回实验室，过 2mm 筛，置于 4℃ 冰箱贮存，供分析微生物生物量碳和氮、微生物数量；另一部分在室温下风干，过 1.0mm 和 0.25mm 筛，用于土壤理化性状和土壤酶活性的测定。

（1）植株组织氮素测定。在各个生育期采集整株烟株，分为根系、烟叶（各部位混合样），参照鲍士旦采用凯氏定氮法测定。

（2）土壤 Nmin 测定。参照鲍士旦方法测定。样品采用 0.01M CaCl₂ 提取；NO₃⁻-N 的测定采用联氨还原比色法，紫外可见分光光度计（美国热电公司，型号 Helios γ）540nm 下比色。NH₄⁺-N 的测定采用靛酚蓝比色法，在 625nm 下比色。土壤 Nmin = NH₄⁺-N + NO₃⁻-N，折算为土壤干重含量表示。

（3）土壤有机质、全氮、速效钾测定。参照鲍士旦方法测定。有机质用重铬酸钾氧化法，土壤中有有机碳含量测定用重铬酸钾法，全氮测定用凯氏定氮法，速效钾采用 NH₄OAc-K 测定。

（4）土壤酶活性测定。

①脲酶用靛酚蓝比色法测定：土样 5.00g 加入 1ml 甲苯 15min 后添加 10ml 不同浓度 0.01mol/L、0.025mol/L、0.05mol/L、0.1mol/L、0.2mol/L 尿素溶液和 20ml pH 值 6.7 柠檬酸缓冲液 37℃ 下培养，培养结束后滤液中被脲酶水解成的氨氮用靛酚蓝比色测定脲酶活性并计算脲酶动力学参数（以 NH₄⁺ 计）。②土壤转化酶活性采用硫代硫酸钠滴定法测定。③土壤磷酸酶（以酚的质量计，37℃）测定采用鲁如坤的方法。④土壤过氧化氢酶、磷酸酶活性采用对硝基苯磷酸盐法。

（5）可培养微生物数量测定。采用平板涂布法，每个样品 3 次重复，同时测定土壤水分，最后将 CFU 值换算为以每克干土为基准。细菌的培养基为营养琼脂培养基，真菌为马丁培养基，放线菌为高氏号培养基。

（6）微生物量碳、氮测定。土样微生物量碳和氮采用 Joergensen 和 Mueller（1996）及 Vance 等（1987）的氯仿熏蒸-K₂SO₄ 浸提法，浸提液中的微生物量碳采用 K₂Cr₂O₇ 加热氧化，FeSO₄ 滴定法；浸提液中的微生物量氮采用凯氏定氮法。每个土样重复 3 次测定。微生物量碳（BC）= EC/KC，EC 表示未熏蒸与熏蒸对照土壤浸取有机碳的差值，KC 为转换系数，取值 0.45。

（7）烤烟化学成分及感官质量评价。各小区单收单烤，取中部叶（C3F）和上部叶（B2F）烟叶样品采用连续流动法测定其常规化学成分。各处理 3 个小区同部位混合样参照郑州烟草研究院采用 9 分制进行感官评吸。

1.2.2.4 数据分析

采用 SPSS22.0 软件进行数据分析。

1.2.3 结果与分析

1.2.3.1 不同碳氮比有机肥对烤烟叶片、根系氮素含量的影响

从图 1-1a 可以看出,在 6 个处理中,大田烟株叶片氮含量在团棵期与旺长期时 C/N=36、C/N=15、C/N=25 这 3 个处理同一时期处理间无显著性差异,但是显著高于同时期对照 (C/N=0)、C/N=5、C/N=52 处理,而后 3 个处理间同时期无显著性差异,这说明了 C/N=15~36 时,能有效增加团棵—旺长阶段烟株对氮素的吸收和积累;团棵期至成熟期 C/N=25、C/N=36、C/N=15 这 3 个处理分别在同一时期处理间烟株叶片氮含量差异不显著,而旺长期至现蕾期,这 3 个处理烟株叶片氮含量皆显著降低,而对照 (C/N=0)、C/N=5、C/N=52 这 3 个处理烟株叶片氮含量在 4 个生育期处理间皆无显著差异,且各处理在整个大田生育期皆保持相对稳定,这一方面可能是因为未施用有机肥 (C/N=0),另一方面可能是较低 (C/N=5) 或较高 (C/N=52) 的 C/N 皆不利于土壤中微生物对氮素的固定和转化所致。本试验结果还表明,尽管各处理在成熟期时烟株根系氮含量较现蕾期皆显著下降,但不同处理在烟株大田各生育期皆对烟株根系氮含量无显著影响 (图 1-1b)。由于烟株叶片为烤烟生产的收获对象,因此,在本试验条件下, C/N=15~36 的有机肥输入不仅能够满足大田烟株前、中期对氮素的需求,而且后期能适时脱氮,与优质烤烟“少时富,老来贫”的氮素需求规律相吻合。

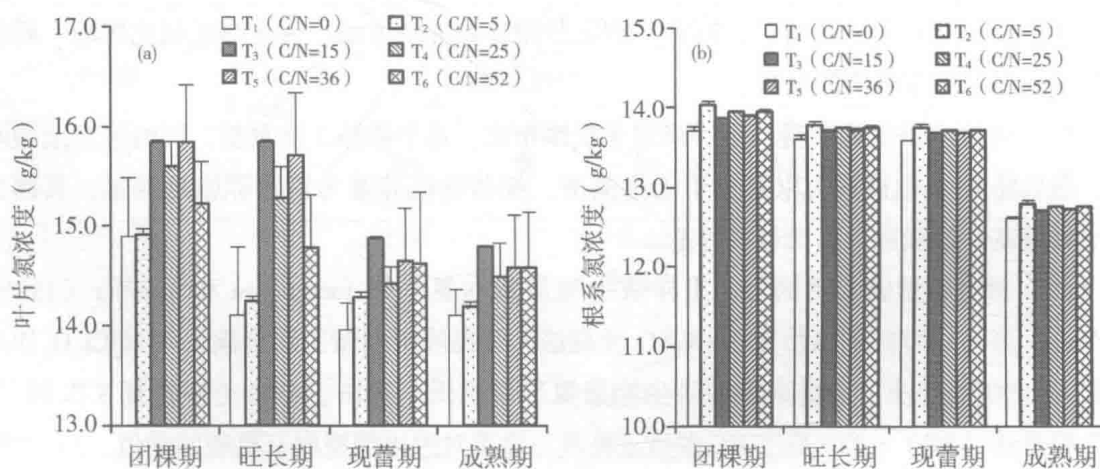


图 1-1 有机肥不同碳氮比对烟叶 (a)、根系 (b) 氮浓度的影响

1.2.3.2 不同碳氮比有机肥对烤烟根际土壤有机质、水溶性碳含量的影响

烟田施用有机肥可不同程度提高土壤有机碳含量,而有机碳则是土壤微生物重要的碳源。本试验结果表明,随着 C/N 比的增加,有机碳输入量增加(C/N 越大,有机碳输入量越大,导致氮素被固定),大田烟株各生育期根际土壤的有机质含量呈增加趋势,平均每增加 100.00kgC/666.7m²,根际土壤有机质增加 0.10~0.20g/kg;而各处理不同大田生育期烟株根际土壤有机质含量变化不显著,说明了在本试验条件下输入不同量的有机碳在当季皆较为稳定(图 1-2a)。

从图 1-2b 可以看出,随着有机碳输入量的增加,大田烟株各生育期根际土壤水溶性碳亦相应呈增加趋势,但各处理水溶性碳在大田生育期变化趋势不尽相同,表现为 C/N=52 处理随生育进程呈增加趋势, C/N=5 处理后 3 个生育期根际土壤水溶性碳含量显著高于团棵期;而 C/N=25、C/N=36、C/N=15 处理则分别在各生育期间差异不大。由于根际土壤水溶性碳是根际微生物碳的主要来源,能够为根际土壤微生物提供有效的碳源,较少 C 输入,土壤微生物活性降低,导致 C/N=5 后期水溶性碳明显增加;较多的 C 输入,能够提供给微生物更多碳源,导致 C/N=52 水溶性碳在整个大田生育期持续增加;而 C/N=25、C/N=36、C/N=15,因为水溶碳整个生育期表现稳定,可能促使根际土壤微生物的转化(死亡与生殖)过程处于相对平衡状态。

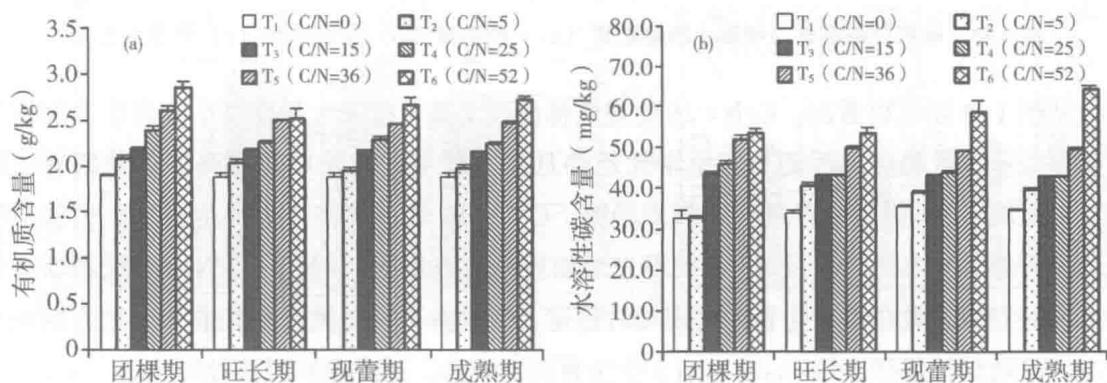


图 1-2 有机肥碳氮比对土壤有机质 (a)、水溶性碳 (b) 含量的影响

1.2.3.3 不同碳氮比有机肥对烤烟根际土壤速效养分含量的影响

从图 1-3a、图 1-3b 可以看出,与对照不施用有机肥相比,施用有机肥各处理皆在烟株大田生育各期不同程度提高根际土壤硝态氮和铵态氮的浓度,且试验各处理不同生育期烟株根际土壤的硝态氮含量皆显著高于铵态氮含量。从 Nmin 来看(图 1-3c),除了对照处理(未施用有机肥)、C/N=5 处理(铵态氮最高)和 C/N=52 处理(团棵期时铵态氮、硝态氮都高;旺长期时硝态氮高,可能是碳含量较高,能够加速微生物对氮的矿化作用)外,另外 3 个 C/N 有机肥处理各相同生育期处理之间 Nmin 无显著性差异。

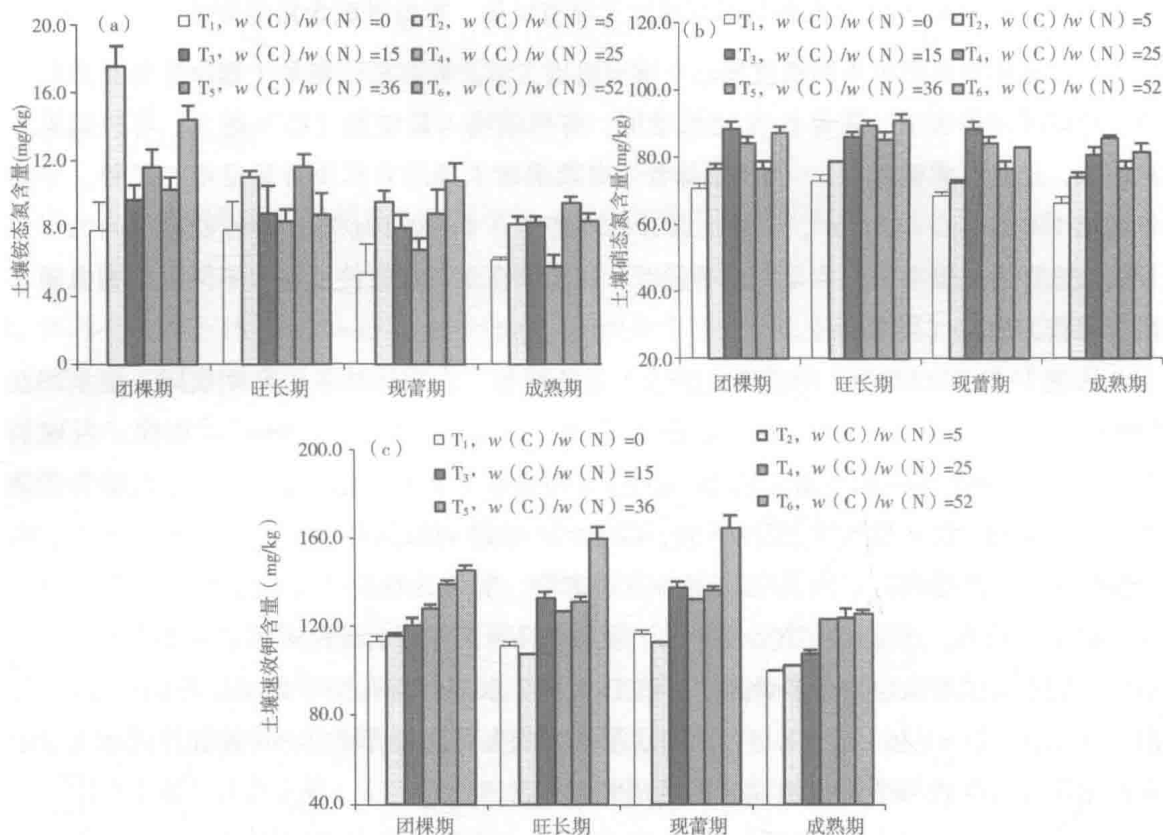


图 1-3 有机肥碳氮比对根际土壤铵态氮 (a)、硝态氮 (b) 和速效钾 (c) 含量的影响

从图 1-3 还可以看出, C/N=25 处理烟株根际土壤铵态氮含量在整个大田生育期内随生育进程呈降低趋势, 而硝态氮呈增加趋势且在团棵期、旺长期显著高于现蕾期和成熟期, 但土壤 Nmin 则随生育进程呈降低趋势。C/N=36 处理在整个大田生育期, 烟株根际土壤铵态氮、硝态氮含量及 Nmin 表现先增加后降低再增加的趋势。C/N=15 处理烟株根际土壤铵态氮含量在整个生育期表现相对稳定, 但是由于硝态氮含量在前 3 个生育期相对较高, 导致烟株根际土壤 Nmin 在前 3 个生育期内较高, 而成熟期时该处理土壤 Nmin 含量与其他处理相比没有显著性差异。由于碳、氮是影响土壤微生物生长的主要因素, 而微生物影响土壤氮素的转化过程, 在碳不足或过量时, 都将影响土壤氮的矿化过程, 因此通过土壤碳的输入调控, 进而影响土壤氮的有效化过程。

图 1-3c 结果显示, 不同 C/N 有机肥输入对大田烟株根际土壤钾含量影响较大, 其中对照 (C/N=0)、C/N=5 处理中随着烤烟大田生育进程, 烟株根际土壤钾含量有降低的趋势, 而供应最高量的猪厩肥 (C/N=52) 时烤烟大田生育各期烟株根际土壤钾含量在各处理中最高 (可能猪厩肥中含钾高, 因为该处理土壤解钾菌低于其他有机肥处理), 其次是 C/N=36、C/N=25、C/N=15 处理。