



广西烤烟生产 理论与技术开发

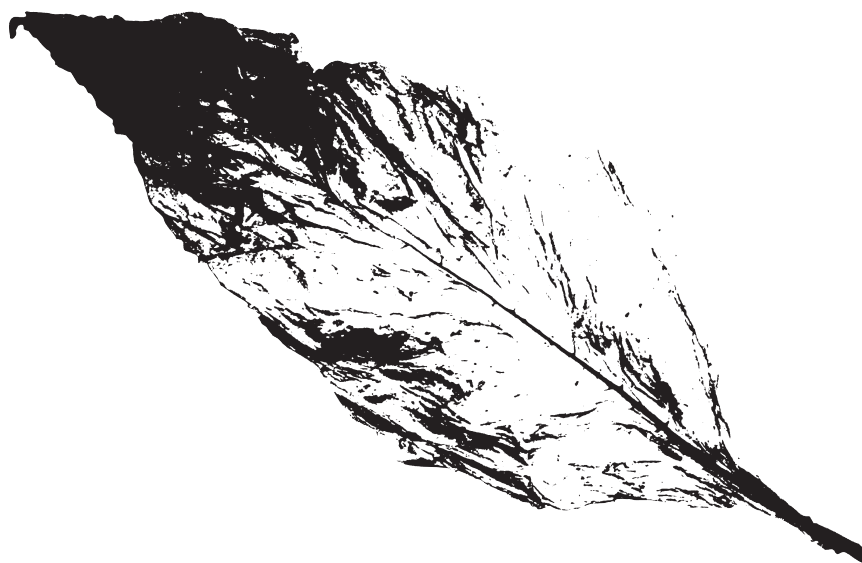
GUANGXI KAOYAN SHENGCHAN
LILUN YANJIU YU JISHU KAIFA

韦建玉 主编

广西科学技术出版社

广西烤烟生产 理论与技术开发

韦建玉 主编



广西科学技术出版社

图书在版编目（CIP）数据

广西烤烟生产理论研究与技术开发/韦建玉主编. —南宁：广西科学技术出版社，2013. 9
ISBN 978-7-5551-0039-3

I. ①广… II. ①韦… III. ①烟草—栽培技术②烟叶烘烤 IV. ①S572②TS44

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 209861 号

GUANGXI KAOYAN SHENGCHAN LILUN YANJIU YU JISHU KAIFA
广西烤烟生产理论研究与技术开发

韦建玉 主编

出版发行 广西科学技术出版社
(社址/南宁市东葛路 66 号 邮政编码/530022)

网 址 <http://www.gxkjs.com>

经 销 广西新华书店

印 刷 广西大华印刷有限公司
(地址/南宁市高新区科园路 62 号 邮政编码/530007)

开 本 890mm×1240mm 1/16

印 张 20

字 数 700 千字

版 次 2013 年 9 月第 1 版

印 次 2013 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5551-0039-3

定 价 168.00 元

本书如有倒装缺页，请与出版社调换

《广西烤烟生产理论研究与技术开发》编委会

主 编：韦建玉

副主编：王 军 张雨夏 张克勤 顾明华 金亚波 丁效东

编 委：黎晓峰 王能如 曾祥难 沈方科 饶 江 李章海

徐增汉 何远兰 周 晓 李 婷 林北森 陈佩琼

卢 健 吴 峰 阚宏伟 周效峰 杨启港 王 政

韦峥宇 钟启德 邓宾玲 白 森 孙建生 胡亚杰

蔡联合 张纪利 刘启斌 贾海江

前 言

2010 年全国烟草工作会议提出，全行业要以“卷烟上水平”为基本方针和战略任务，在品牌发展力争到 2015 年实现“532”“461”品牌战略目标，努力保持行业持续健康发展，全面提升中国烟草的整体竞争力。

广西地属亚热带季风气候，烟草种植主要集中在低山、丘陵、盆地交错分布的桂西山区，具备优质烟叶生产的光、热、水、土等自然条件，是生产优质烟叶的最适宜区。在全国第三次烟草种植区划中广西烟区被划分为二级烟草种植区，烟叶质量较好。得天独厚的自然条件使得烟草成为广西重要的经济作物之一，烟叶生产在广西经济、社会发展具有重要地位。一直以来，广西烟草业始终秉承“国家利益至上，消费者利益至上”的行业共同价值观，认真履行社会责任，大力发展现代烟草农业，为广西现代农业的发展及新农村建设作出了积极的贡献。

按照“打牢基础、规范管理、突出特色、提升水平”的工作要求，在广西中烟工业有限责任公司的大力支持和帮助下，我们在广西已经开展了近十年的烤烟生产理论研究与技术开发方面的系统研究，取得了不少重要的研究成果。为了更好地总结这些年的研究成果，推动广西烤烟生产水平持续提高，我们编写了这本《广西烤烟生产理论研究与技术开发》论著。全书从烤烟碳氮代谢、脂类代谢理论，以及烤烟品种的适用性研究，到烤烟漂浮育苗技术、烟草平衡施肥技术、无公害烟草病虫害防治技术、烟叶烘烤技术等方面对广西烤烟生产进行了理论与技术总结，体现了我们的学术思想和技术水平，对烟草教育、科研、生产部门相关人员具有一定的参考价值。

在项目实施和研究成果成书过程中，广西中烟工业有限责任公司、广西壮族自治区烟草专卖局（公司）、广东省烟草南雄科学研究所（广东烟草粤北烟叶生产技术中心）、广东省生态环境与土壤研究所、广西科学技术出版社等单位领导和有关同志给予了大力支持和协作，广西大学、中国科学技术大学教授、专家给予了许多指导性意见和建议。这些都是本著作能够出版的重要保证。在本著作撰写过程中，参考并引用了大量文献资料，在此谨对上述单位和有关人员及参考文献的原作者表示衷心的感谢。

本书虽然试图系统介绍广西烤烟生产有关理论和相关技术，但受研究和认识水平所限，难免存在不当之处，敬请广大读者，特别是烟草界同行予以批评指正！

编 者
2013 年 5 月

目 录

1 烤烟生产概述 (1)

1.1 烟草行业对我国国民经济的影响 (1)

1.2 烤烟生产中的碳氮代谢与品质评价 (2)

1.3 烤烟生产中的平衡施肥 (3)

1.4 参考文献 (4)

2 氮素营养对烤烟碳氮代谢及品质的影响 (7)

2.1 烤烟生产氮素营养方面的研究进展 (7)

2.2 研究材料与方法 (12)

2.3 研究结果与讨论 (15)

2.4 结论与讨论 (23)

2.5 参考文献 (25)

3 钾素营养对烤烟碳氮代谢及品质的影响 (31)

3.1 烤烟生产钾素营养方面的研究进展 (31)

3.2 材料与方法 (35)

3.3 结果与分析 (40)

3.4 结论与讨论 (53)

3.5 参考文献 (56)

4 氮钾配施对烤烟碳氮代谢及产质量的影响 (60)

4.1 氮钾配施在烟草方面的研究进展 (60)

4.2 材料与方法 (61)

4.3 结果与分析 (64)

4.4 结论与讨论 (90)

4.5 参考文献 (92)

5 硼素营养对烤烟碳氮代谢及品质的影响 (94)

5.1 硼素营养在烟草方面的研究进展 (94)

5.2 材料与方法 (95)

5.3 结果与分析 (98)

5.4 结论与讨论 (110)

5.5 参考文献 (112)

6 有机无机肥配施对烤烟脂类代谢及品质的影响 (114)

6.1 有机无机肥配施在烟草方面的研究进展 (114)

6.2 材料与方法 (116)

6.3 结果与分析 (119)

6.4 讨论 (130)

6.5 参考文献 (132)

7 烤烟品种适用性及生态条件对烟叶品质的影响 (135)

7.1 烤烟品种适用性及生态条件对烟叶品质影响的研究进展 (135)

7.2 材料与方法 (135)

7.3 结果与分析 (136)

7.4 结论与讨论 (140)

7.5 参考文献 (141)

8	烤烟成熟度指标筛选及施肥量对其影响	(142)
8.1	烤烟成熟度及施肥量对其影响的研究进展	(142)
8.2	材料与方法	(142)
8.3	结果与分析	(143)
8.4	结论与讨论	(156)
8.5	参考文献	(156)
9	“土壤—烤烟”体系氮素损失特征及其机制	(157)
9.1	“土壤—烤烟”体系氮素损失的研究进展	(157)
9.2	材料与方法	(162)
9.3	结果与分析	(167)
9.4	结论与讨论	(177)
9.5	参考文献	(179)
10	烤烟生产中氮肥高效利用及其机理	(184)
10.1	烤烟生产中氮肥利用的研究进展	(184)
10.2	材料与方法	(187)
10.3	结果与分析	(190)
10.4	结论与讨论	(207)
10.5	参考文献	(210)
11	有机肥对烤烟品质、土壤改良效果的研究及应用	(215)
11.1	有机肥对烤烟品质、土壤改良效果的研究进展	(215)
11.2	材料与方法	(216)
11.3	结果与分析	(221)
11.4	结论与讨论	(241)
11.5	参考文献	(243)
12	烤烟漂浮育苗技术应用研究	(244)
12.1	烤烟漂浮育苗技术的研究进展	(244)
12.2	材料与方法	(246)
12.3	结果与分析	(248)
12.4	结论与讨论	(260)
12.5	参考文献	(262)
13	广西烟田土壤养分特征与烟叶品质评价	(264)
13.1	研究背景	(264)
13.2	材料与方法	(264)
13.3	结果与分析	(266)
13.4	结论与讨论	(278)
13.5	参考文献	(280)
14	提高广西基地烟叶可用性的研究	(281)
14.1	研究背景	(281)
14.2	材料与方法	(281)
14.3	结果与分析	(285)
14.4	结论与讨论	(312)
14.5	参考文献	(314)

烤烟生产概述

烟草 (tobacco) 是一年生叶用经济作物, 其生物学分类上属于茄科 (Solanaceae) 烟草属 (*Nicotiana*) (左天觉, 1993)。烟草属起源于中南美洲, 多为草本, 少数为灌木或乔木, 目前已经发现该属植物有 66 种, 而其中成为栽培作物的烟草种只有普通 (红花) 烟草 (*N. tabacum* L.) 和黄花烟草 (*N. rustica* L.), 前者是商业栽培的主要烟草种 (中国农业科学院烟草研究所, 1987)。根据烟草品种、栽培、调制方法和用途多方面的不同, 一般将普通 (红花) 烟草细分为烤烟、雪茄烟、白肋烟、香料烟和晒烟、晾烟等类型。我国主要种植的是烤烟 (flue-cured tobacco), 与其他烟草类型相比, 烤烟烟叶含糖量较高, 蛋白质含量较低, 烟碱含量适中。

1.1 烟草行业对我国国民经济的影响

从 1492 年哥伦布在美洲第一次接受 Arawaks 赠送的干烟叶, 距今已有五百多年的历史。烟草作为文明世界的生产商品, 也走过了四百多年的历程。如今烟草已成为全球数亿人的消费品, 遍布于世界的每个角落。从北纬 60°到南纬 45°都有烟草种植, 烟草的生产几乎遍及世界各地, 但烟草种植主要集中在中国、印度、美国和巴西等国家 (Nicholas, 1999)。我国是世界烟草生产大国, 是世界烤烟种植面积最大的国家, 烟叶、卷烟产量和消费量均占世界总量的三分之一 (全国评烟委员会, 2002)。

烟草是一种重要的经济作物, 烟草产业在我国国民经济中占有重要地位。由于烟草在经济方面的特殊地位和它满足商品属性中的一些特殊要求 (质量、安全性), 因此其受到各国政府的普遍重视 (周冀衡等, 1996)。它不但为劳动力提供很多就业机会, 使烟农获得较多的收入, 在我国中西部的云南、贵州、湖南等烟草大省, 烟草行业的财政支柱作用尤为突出。我国 2004 年烤烟移栽面积超过 1×10^7 hm^2 , 全年收购烟叶超过 1×10^{10} kg, 全年累计实现工商税利 2 100 亿元, 比上年增长 450 亿元, 增长 27%, 其中实现工商税金 1 414 亿元, 比上年增长 225 亿元。据统计, 我国烟草行业从 1981 年到 2007 年, 年工商税利从 75 亿元增长到 3 880 亿元。因此, 在可以预见的将来, 烟草作为一种人们吸食的嗜好品和科学研究的载体, 必将继续在经济领域和科研领域发挥着重要作用。

我国主要栽培的烟草类型为烤烟, 烤烟的使用价值取决于它的品质, 烟叶的吃味、香气和安全性等直接影响着烤烟的价格, 决定着烤烟种植的经济效益。因此, 改善烤烟的品质, 提高优质烤烟的产出率, 对于提高我国烟草业的经济效益及其在国际市场上的竞争力, 减轻吸烟对人体健康的不良影响都具有十分重要的作用。

我国烟叶出口量很少, 远低于津巴布韦、希腊、意大利、巴西和美国等国。原因是我国生产的烟叶在品质上与一些烟叶出口大国特别是美国相比还有明显的差距, 主要体现在烟叶的香气质、香气量以及烟叶的化学成分的协调性方面。当前国际上对吸烟安全性的日益重视和低焦油、低烟碱卷烟产品的不断开发, 已对烟叶的香气品质、工业使用价值、内在化学成分的协调性和安全性提出了新的更高的要求。因此, 烟叶的研究重点已经从追求高产量转为如何提高烟叶的品质上 (刘国顺, 2003)。

烟叶原料是支撑我国中式卷烟发展的基础与关键, 随着我国加入 WTO 之后所承担的相关责任与义务的逐步落实和《烟草控制框架公约》相关条款的施行, 国家对烟叶质量的要求更高, 烟叶生产要真正转移到以提高品质为中心的轨道上来, 为名优卷烟品牌提供优质原料。中国烤烟种植面积和总产量都居世界首位, 但烟叶质量存在的问题使得国产烟叶难以适应高档卷烟生产和新产品开发的需要, 迫使国内卷烟企业在制作高档卷烟时, 需要花费比国产烟叶高一倍的价格购买进口烟叶, 造成所谓的“花钱买香气”现状。

1.2 烤烟生产中的碳氮代谢与品质评价

20 世纪 70 年代, Tso (1972) 在研究烟叶品质形成过程中发现, 烟株碳氮代谢与烟叶品质有密切关系, 并指出烟叶品质的优劣是碳氮代谢协调程度的结果。近年来, 国外学者开始在组培条件下, 研究氮素营养对烟叶核酮糖二磷酸羧化酶 (RuBP 羧化酶)、烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸脱氢酶 (NADP-甘油醛-3-磷酸脱氢酶)、醛缩酶、转酮酶、质体果糖-1,6-二磷酸酯酶、腺苷-5'-二磷酸葡萄糖焦磷酸化酶 (ADPG-PPase) 等酶活性的影响 (Geiger et al, 1999)。国内学者于 20 世纪 90 年代就开始注意烤烟碳氮代谢规律的研究 (曹志洪, 1991; 董惠萍, 1992; 冯柱安等, 1998), 但是直到近年才开始重视碳氮代谢对品质形成的影响 (史宏志等, 1996, 1998)。

碳氮代谢是烤烟植株最基本的代谢过程, 碳氮代谢强度、协调程度及其在烟叶生长和成熟过程中的动态变化模式直接或间接影响烟叶各类化学成分的含量和组成比例, 对烟叶品质产生重大影响 (史宏志等, 1998; Stitt et al, 2002; 许自成等, 2007)。碳代谢并非单一的代谢过程, 包括无机碳在叶绿体中通过光合作用的卡尔文循环转化为有机碳的光合固定代谢、磷酸丙糖通过叶绿体膜运至细胞质合成蔗糖并进一步转化为单糖的碳水化合物运输转化代谢, 以及以淀粉的积累为主要标志的碳水化合物的积累代谢等 (史宏志等, 1998)。在这些代谢过程中, 碳的固定代谢与碳的转化代谢是一致的, 它们的代谢强度与光合作用强度呈正相关 (宋建民等, 1998)。氮代谢包括无机氮 (硝态氮) 的还原、同化及有机含氮化合物的转化、合成等过程, 这些过程的变化趋势基本一致 (李潮海等, 2000)。氮代谢较强时, 大量的氮被同化为氨基酸, 进一步合成蛋白质和转化为含氮碱等含氮化合物。因此, 烟叶的碳固定和转化代谢与氮代谢过程表现出随烟叶发育而减弱和随施氮量增加而增加的类似趋势, 表明二者之间存在着密切的联系。氮代谢的进行需要依赖于碳代谢提供碳源和能量, 而碳代谢又需要氮代谢提供酶蛋白和光合色素 (宋建民等, 1998), 烟叶碳氮代谢的协调程度对烟叶的生长发育和各类化学成分的形成转化有重要影响, 直接或间接关系到烟叶产量的提高和品质的形成 (史宏志等, 1998; 李潮海等, 2000)。

优质烟叶必须具备碳水化合物和含氮化合物之间的平衡和协调。Weybrew 等 (1983) 研究了不同水肥条件下烟草碳氮代谢的协调性问题, 提出了烟株生长期硝酸还原和淀粉积累两个生理过程的作用, 指出决定烤烟质优的关键是烟株从硝酸还原代谢适时过渡到淀粉积累代谢, 在正确的施肥和适量的水分条件下, 这种过渡大约在开花期发生, 把握好过渡时间可保证烟叶成熟良好, 品质优良, 化学成分协调, 糖碱比例平衡。优质烟生产上应该使烟叶在发育适当时期, 及时由以氮代谢、碳的固定和转化代谢为主转变为以碳的积累代谢为主。烟叶的香味与吃味品质是多种化学成分的性质、含量、组成比例及相互作用的结果, 这些成分是在烟叶碳、氮和脂类代谢等各种生理生化过程中相互联系、相互制约、相互矛盾又相互统一的作用下形成的。因此, 烟叶各种代谢过程的比例和协调程度直接关系到烟叶化学成分的协调和质量的优劣。烟叶生理生化代谢的整体模式及平衡关系受遗传、环境、栽培等因素的强烈影响, 因此采用生物、农艺等措施对代谢进行有效的调节, 可以促进各类代谢过程定向协调发展。

碳水化合物是植物通过光合作用合成的一类重要有机化合物, 与蛋白质、核酸、脂肪等构成生物界最为基础的物质, 生理意义极为重大, 在植物生长发育、代谢活动中占据重要的位置 (江苏农学院, 1984)。烟叶内碳水化合物变化规律的研究, 对正确指导采收、调制等实践和最终产品获得应有的香气、颜色具有重要的指导意义 (周冀衡等, 1996)。烟叶中的碳水化合物主要由单糖 (葡萄糖和果糖)、双糖 (麦芽糖和蔗糖)、多糖 (淀粉和纤维素) 组成。单糖含量多的烟叶, 能抗外界的压力而避免破碎, 还能降低由于燃烧时蛋白质所产生的不良气味和减小烟叶的刺激性, 在调制过程中增加单糖含量可以有效改善烟叶的品质 (王允白等, 1998)。在烟叶生长和成熟过程中, 与烟叶碳的固定和转化代谢密切相关的转化酶活性, 在烟叶功能盛期以后逐渐降低, 淀粉酶在烟叶定长之前活性最低, 随着烟叶的定长和进入功能盛期, 总淀粉酶活性显著升高, 功能盛期以后活性又下降; 而在烟叶成熟过程中淀粉酶活性又显著升高, 表明烟叶碳的固定和转化代谢在烟叶功能盛期以后逐渐减弱。与之相反, 淀粉含量在烟叶生长过程中逐渐积累, 含量增加, 还原糖、总碳含量也表现出增加趋势 (宫长荣, 1994; Ratnavathi, 1992), 表明碳的积累代谢在烟叶功能盛期以后逐渐增强。这种变化趋势与烟叶的光合和呼吸过程密切相关。碳的变化规律是碳的积累代谢逐渐增强, 而碳的固定和转化代谢逐渐减弱。

烤烟含氮化合物包括总氮、蛋白质、烟碱等, 含量的高低对烟叶、烟气质量影响极大。研究表明 (杜

咏梅等, 2000), 总氮与香气、吃味、杂气、劲头、评吸总分呈极显著(显著)负相关; 蛋白质与吃味呈显著负相关, 与刺激性呈显著正相关。氮代谢的关键酶硝酸还原酶活性随着生长发育进程的推进而降低。在正常情况下, 移栽后 60 d 左右快速下降并降至稳定状态(韩锦峰等, 1996)。在烟叶生长发育和成熟过程中, 烟叶总氮和蛋白质含量呈逐渐下降趋势(Weybrew et al, 1983), 表明氮代谢在烟叶生长和成熟过程中逐渐减弱。研究表明, 烟叶在发育和成熟过程中碳氮比逐渐增加并表现出有一个快速增长期, 碳氮比快速增长期随着施氮水平的增加而趋于推迟和不明显。烟叶经烘烤后碳氮比有所下降。烟叶碳氮比变化与含氮量的相关性大于与含碳量的相关性, 烟叶含碳量在烟叶发育过程中变幅较小, 但在施氮水平低时, 表现由升到降的变化(Ratnavathi, 1992)。

烟草作为一种特殊的经济作物, 不仅要求一定产量, 而且更要求其高质量。烟草品质是一个很复杂的概念, 不仅不同的人对它的理解有所不同, 而且随着研究的深入和人们对吸烟与健康的日益关注, 烟草品质的概念也在不断地变化。影响烟草的品质因素很多, 一般包括烟叶化学成分(糖、氮、烟碱、钾、氯等成分的含量及比值)、烟气化学成分(数千种成分)、外观特征(成熟度、颜色、烟叶结构等)、物理特征(厚度、弹性、吸湿性等)、吸食品质(香气质、香气量、余味、劲头、杂气、刺激性、燃烧性等)、安全性(烟气中焦油等有害成分的含量), 等等, 这些因素都与烟草最终产品的可用性(即消费者可接受的程度加上品质)相关(左天觉, 1993; 胡国松等, 2000)。

烟叶碳氮代谢的整体模式及平衡关系受遗传、环境、栽培等因素的强烈影响, 因此采用生物、营养、化学、农艺、生态等措施对代谢进行有效的调节, 可以促进各类代谢过程定向协调发展。其中营养调节主要是通过使用不同的施肥种类、数量和方法进行调节, 因为碳氮代谢与作物营养状况密切相关, 所以通过科学合理施肥促进二者协调发展, 对提高烟叶香吃味品质以及发挥肥料的最大效率具有重要意义。

烤烟作为一种重要的经济作物, 影响烤烟香吃味的因素很多, 如品种、烤烟种植区的气候特征、海拔高度、土壤类型、土壤肥力、施肥、留叶数、成熟度以及烟叶调制、烟叶陈化等(招启柏等, 2002)。烤烟的关键栽培技术之一就是施肥(韩锦峰等, 1996), 其主要目的在于提高烟叶产量和品质, 为卷烟工业提供优质原料。在目前的主要栽培体系中, 施肥不仅是决定烟叶产量、产值的第一因子, 而且在烟叶均价、上等烟比例的影响上也具有较高的比重。施肥对烟叶香吃味的贡献仅次于品种, 占 24.8%。因此, 在一定的环境和品种条件下, 施肥是调控烟叶产量和质量的核心(史宏志等, 1998; 刘卫群等, 1998)。

有研究(周宽余等, 1998; 韩锦峰等, 1990; 邓云龙等, 2001)表明, 磷钾肥的充足供给可促进烟株体内的碳水化合物的代谢, 而过量施用氮肥则会导致烟叶贪青晚熟, 烟株的碳氮代谢失调, 烟叶中烟碱含量过量积累。烟叶中的含氮化合物和碳水化合物的含量与烟叶质量有关, 而且也影响烟叶的吃味和香气, 因此它们是烟叶的重要化学成分。碳氮代谢与作物营养状况密切相关, 通过合理配方施肥促进二者协调发展, 可以有效提高烟叶香吃味品质, 以及发挥肥料的最大效率。有机肥和无机肥混合施用, 特别是施用饼肥, 对促进烤烟碳氮代谢的协调, 尤其是促进脂类代谢的增强, 增加烟叶油分和香气量, 提高香味和吸味品质具有显著作用(杨俊, 1990; 胡国松等, 1995)。但有机肥的施用应考虑气候和土壤条件, 前期干旱和土壤肥力较高时会降低有机肥的施用效果。试验表明, 施用含腐殖酸的有机复合肥对促进烟叶早期开片生长和氮代谢向碳的积累代谢的适时转化有明显效果。

1.3 烤烟生产中的平衡施肥

平衡施肥是根据作物需肥规律、土壤供肥性能与肥料效应, 在有机与无机相结合条件下, 保持氮、磷、钾和中微量元素肥的适宜用量和比例, 配合相应的施肥技术, 以满足作物均衡吸收各种营养, 维持土壤肥力水平, 减少养分流失和对环境的污染, 达到高产、优质和高效目的。平衡施肥的原理包括养分归还学说、最小养分律、报酬递减律和因子综合作用律。具体内容: ①养分归还学说的要点是作物从土壤中吸收带走养分, 使土壤中的养分越来越少。因此, 要恢复地力, 就必须向土壤施加养分。②最小养分律是指作物产量的高低受作物最敏感的养分缺乏的制约, 在一定程度上产量随这种养分的增减而变化。植物生长发育吸收的各种养分, 起决定植物产量作用的却是土壤中那个相对含量最小的养分。③报酬递减律最早是作为经济法则提出来的, 其内涵是在其他技术条件(如灌溉、品种、耕作等)相对稳定的前提下, 随着施肥量的逐渐增加, 作物产量也随着增加。当施肥量超过一定限度后, 再增加施肥量, 反而会造成农作物减产。④因子综合作用律。据统计, 作物增产措施施肥占 32%, 品种占 17%, 灌溉占 2%, 机械化占 13%,

其他占 10%，因此，配方施肥应与其他高产栽培措施紧密结合，才能发挥出应有的增产效益。在肥料养分之间，也应该相互配合施用，这样才能产生养分之间的综合促进作用。

由以上平衡施肥原理与方法可知，科学施肥是生产优质烤烟的重要程序之一，是提高烟叶质量及产量的关键栽培措施。但施肥技术却是烤烟生产最不容易掌握的技术，也是目前我国烟叶生产中问题比较突出的技术环节。黄光荣（2006）对烤烟进行氮、磷、钾平衡处理，结果表明，平衡处理后的烤烟烟叶产量与农民习惯施肥及其他缺乏养分处理相比较，产量提高 12.7%~15.7%，上中等烟比率提高 9.5%~14.9%，增加经济效益 13.7%~36%。王春光等（2008）在对哈尔滨烟区平衡施肥技术总结时提出，哈尔滨烟区近年来烤烟产质量大幅度提高的原因在于根据当地生态条件施行测土配方施肥，细化了不同养分含量烟区土壤施肥用量及养分元素配比，施肥配方到村，以控氮为中心配套到田，平衡施肥技术得到有效的应用推广，彻底改变了农民习惯性、经验性施肥的做法，真正实现了烤烟施肥的规范化、科学化。刘红日（2004）以“由质定产、以产定氮、因缺补缺、优质栽培”四项措施来概括平衡施肥技术，根据烤烟生长期间的营养状况，利用先进仪器测试技术和农民的实践经验针对烟株不同发育期采用最佳的施肥方案，为烟株提供全面、均衡的大、中、微量元素养分，达到烤烟适产优质。

从以上国内对烤烟的施肥研究结果来看，其大多都是从单一施肥量、单一肥料品种出发，而对烤烟平衡施肥技术系统性的研究还不多，对烤烟生长发育所必需的各种营养元素合理搭配施用等问题尚未完全解决。由于生态地域的不同，既有的研究结果对广西生态条件下的烤烟生产指导意义如何，不得而知。广西对烤烟平衡施肥技术尚未进行过系统的研究，未能很好地针对广西区域植烟土壤的实际情况提出科学、合理的施肥方案，也就未能达到各种营养元素平衡施用的目的。

广西平衡施肥工作开始于 20 世纪 80 年代初期，第二次全国土壤普查工作结束后，各地利用土壤普查成果，推广配方施肥技术，主要采用土壤普查的地块化验结果，找出不同产量水平土壤养分基本规律及其土壤的主要障碍因子，提出不同的施肥配方，并在不同的作物上进行了大量的田间试验验证和有关施肥参数试验工作，为 90 年代中期进行的测土配方施肥奠定了良好的基础。经过二十多年不懈努力，各地利用十多年大量的田间试验结果，建立了作物施肥参数估计模型，成功开发了多种技术模式，为农民提供优质的技术服务。这些技术服务有土壤诊断施肥网络工程、智能化精准施肥技术连锁服务模式、测土配方施肥信息化服务模式，加上现代的信息处理技术、土壤养分测定技术和配肥技术的不断发展，为开展测土配方施肥提供了良好条件。实行“测、配、产、供、施”一体化综合技术服务，把配方施肥转为施配方肥，以配方肥为载体，将测土配方施肥技术传授给农民，使粮食和糖料作物平均增产 9%~18%，化肥利用率提高 7.3%~11.0%，亩（亩为非法定计量单位，1 亩=1/15 hm²≈667 m²）节本增收 56.3~80.2 元。

为适应现代信息技术发展和现代农业生产的需要，2003 年起，武鸣等 7 县（区）利用计算机技术、网络技术、GIS 技术等，利用第二次土壤普查资料和多年的土壤肥料试验结果，对 11.56 万个地块耕地进行数字化，改良测土配方施肥技术，基本实现测土配方施肥信息化。经过两年应用示范面积 1.5 万公顷，作物增产 10%左右。2005 年，广西各级农业部门认真贯彻中央 1 号文件、国务院领导批示精神，积极实施农业部的春秋两季测土配方施肥行动，测土配方施肥面积达 78 万公顷，实现了历史性大跨越，粮食增产约 2.94 亿 kg，肥料利用率提高 6~8 个百分点，节约化肥（折标准肥）8.69 万吨，产生经济效益五亿多元，技术推广应用覆盖全区 89 个县（区）、780 个乡（镇），受益农户 64.5 万户。通过推广测土配方施肥技术，现在不少农民主动采集土样送检、咨询施肥技术，改变了过去购肥只看价格，不看标志和养分含量，“什么肥料便宜，就买什么肥料”的购肥习惯，增强了施肥过程中量的观念。2005 年，全广西施用氮、五氧化二磷、氧化钾的比例由 2004 年的 1:0.36:0.55 改变为 1:0.41:0.62，氮、磷、钾施用比例趋于合理，农业资源污染减少，促进了生态环境保护。产生的社会效益和生态效益显著，为广西粮食增产、农业增效、农民增收做出了贡献。

1.4 参考文献

- 曹志洪. 1991. 优质烤烟生产的土壤与施肥 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社: 116-122.
- 邓云龙, 孔光辉. 2001. 云南烤烟中上部烟叶含氮化合物代谢规律研究 [J]. 云南大学学报, 23(1): 65-70.
- 董惠萍. 1992. 不同施肥量对烤烟烟叶氮碳代谢的影响 [J]. 云南农业大学学报 (4): 237-243.

- 杜咏梅, 郭承芳, 张怀宝, 等. 2000. 水溶性总糖、烟碱、总氮含量与烤烟吃味品质的关系研究 [J]. 中国烟草科学 (1): 7—10.
- 冯柱安, 彭桂芬. 1998. 不同氮素形态对烤烟品质影响的研究 [J]. 中国烟草科学, 19(4): 11—15.
- 宫长荣. 1994. 烟叶烘烤原理 [M]. 北京: 科学出版社: 105—107.
- 韩锦峰, 郭培国. 1990. 氮素用量、形态、种类对烤烟生长发育及产量品质影响的研究 [J]. 河南农业大学学报(3): 275—285.
- 韩锦峰, 史宏志, 官春云, 等. 1996. 不同施氮水平和氮素来源烟叶碳氮比及其与碳氮代谢的关系 [J]. 中国烟草学报, 3(1): 19—25.
- 胡国松, 曹志洪, 周秀如, 等. 1995. 烤烟化学组分与抽吸品质的关系研究初报 [M] // 优质烤烟生产的钾素和微素. 北京: 中国农业科技出版社: 11—17.
- 胡国松, 郑伟, 王震东, 等. 2000. 烤烟营养原理 [M]. 北京: 科学出版社: 144—148.
- 黄光荣. 2006. 平衡施肥对烤烟产量和质量的影响 [J]. 安徽农业科学, 34(11): 2431—2440.
- 江苏农学院主编. 1984. 植物生理学 [M]. 北京: 中国农业出版社.
- 李潮海, 刘奎, 连艳鲜. 2000. 玉米碳氮代谢研究进展 [J]. 河南农业大学学报, 34(4): 318—323.
- 刘国顺主编. 2003. 烟草栽培学 [M]. 北京: 中国农业出版社.
- 刘红日. 2004. 浅谈湘南烤烟平衡施肥 [J]. 中国烟草科学 (4): 38—40.
- 刘卫群, 韩锦峰, 史宏志, 等. 1998. 数种烤烟品种中碳氮代谢与酶活性的研究 [J]. 中国农业大学学报, 3(1): 22—26.
- 全国评烟委员会. 2002. 我国卷烟产品发展方向的研究(上) [J]. 中国烟草学报, 12(4): 10—13.
- 史宏志, 韩锦峰, 刘国顺, 等. 1996. 不同氮量和氮源烟叶碳氮比及其与碳氮代谢的关系 [C] // 第二届全国中青年作物栽培作物生理学术会文集. 北京: 中国农业科技出版社: 526—531.
- 史宏志, 韩锦峰, 刘国顺, 等. 1998. 烤烟碳氮代谢与烟叶香吃味关系研究 [J]. 中国烟草学报, 4(2): 56—63.
- 史宏志, 韩锦峰. 1998. 烤烟碳氮代谢几个问题的探讨 [J]. 烟草科技, 129(2): 34—36.
- 宋建民, 田纪春, 赵世杰. 1998. 植物光合碳和氮代谢之间的关系及其调节 [J]. 植物生理学通讯, 34(3): 230—238.
- 王春光, 王少成. 2008. 哈尔滨烟区平衡施肥技术现状与策略 [J]. 黑龙江农业科学(5): 65—67.
- 王允白, 王宝华, 郭承芳, 等. 1998. 影响烤烟评吸质量的主要化学成分研究 [J]. 中国农业科学, 31(1): 89—91.
- 许自成, 张婷, 卢秀萍, 等. 2007. 打顶后施用生长素(IAA)和钾肥对烤烟碳氮代谢的影响 [J]. 生态学杂志, 26(4): 461—465.
- 杨俊. 1990. 有机与无机肥配比对烤烟产质量的影响 [J]. 中国烟草 (3): 34—37.
- 招启柏, 黄年生, 徐卯林. 2002. 我国烟草丸粒化包衣技术的研究与发展方向 [J]. 中国烟草科学, 23(1): 25—27.
- 中国农业科学院烟草研究所主编. 1987. 中国烟草栽培学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社: 1—15.
- 周冀衡, 朱小平, 王彦亭, 等. 1996. 烟草生理与生物化学 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社: 193.
- 周宽余, 韩国彪. 1998. 不同施氮量对烤烟生产的影响 [J]. 山西农业科学, 26(2): 58—59.
- 左天觉著, 朱尊权译. 1993. 烟草的生产、生理和生物化学 [M]. 上海: 远东出版社: 35—186.
- GEIGER M, HAAKE V, LUDEWIG F. 1999. The nitrate and ammonium nitrate supply have a major influence on the response of photosynthesis, carbon metabolism, nitrogen metabolism and growth to elevated carbon dioxide in tobacco [J]. Plant Cell and Environment, 22: 1177—1199.
- HUME D J, CAMPBEL D K. 1972. Accumulation and translocation of soluble solids in corn stalks [J]. Can J Plant Sci, 52: 363—368.
- NICHOLAS W. 1999. Tobacco: World Markets and Trade [M]. London: Oxford Medical Publications, 22.

- RATNAVATHI C V. 1992. Nitrate reductase of tobacco in relation to age and nitrogen fertilizer [J]. Tobacco Research, 18(1&2): 121—124.
- STITT M, MÜLLER C, MATT P, et al. 2002. Carbon and nitrogen relationships and signaling: Steps towards an integrated view of nitrogen metabolism [J]. Journal of Experimental Botany, 53: 959—970.
- TSO T C. 1972. Physiology and biochemistry of tobacco plants [M]. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson & Ross Inc: 393.
- WEYBREW J A, WANISMAIL W A, LONG R C. 1983. The cultural management of flue-cured tobacco quality [J]. Tobacco international, 185(10): 82—87.
- WIESLER F, HIRST W J. 1993. Differences between among maize cultivars in the utilization of soil nitrate and the related losses of nitrate through leaching [J]. Plant and Soil, 151: 193—203.

氮素营养对烤烟碳氮代谢及品质的影响

2.1 烤烟生产氮素营养方面的研究进展

氮素 (nitrogen) 是植物的生命元素, 也是限制烟株生长发育以及烟叶产质量的首要因素 (韩锦峰, 2003)。它是烟草中蛋白质 (protein)、核酸 (nucleic acid)、磷脂 (phospholipid)、烟碱 (nicotine)、叶绿素 (chlorophyll) 等成分的组成部分, 其中的蛋白质、烟碱对烟叶香气的组成、吸味及刺激性均有重要作用 (刘国顺, 2003)。

2.1.1 烤烟对不同氮素形态的吸收与同化

烤烟直接从土壤中吸收的无机氮素主要为硝态氮和铵态氮。硝态氮和铵态氮具有完全不同的离子性质, 硝态氮的利用率主要受降水量的影响 (曹志洪等, 1985), 铵态氮的利用率主要受施肥方式和土壤 pH 值的制约 (范钦贞, 1993)。根系特性也影响烟株对混合氮源中硝酸根和铵根离子的相对吸收 (Vessey et al, 1990), 并且不同形态氮在烟株根际的迁移、吸收方式及在烟株体内的转化利用也不相同 (钦绳武等, 1989)。因此适宜的氮素形态配比是保证优质烟生长的关键因素之一。

20 世纪 80 年代以来, 国内外就氮素形态对烤烟产质量影响的研究开展了大量工作 (韩锦峰等, 1990; 刘平等, 1991)。在烟草生产中, 常用的氮肥有两类, 即有机氮和无机氮。有机氮肥主要有饼肥 (如芝麻饼、豆饼) 及农家肥 (粗肥、土粪) 等, 习惯上认为饼肥是烟草最好的肥料, 因为施用这些饼肥能出好烟 (提高烟叶的油性和香味等); 无机氮肥一般有两种形态, 硝态氮和铵态氮, 烟株对这两种形态的氮肥都能吸收, 但一般认为硝态氮对提高烟叶品质的效果优于铵态氮。

硝态氮不能被土壤胶体吸附, 在土壤中随水分的移动而移动, 能迅速被烟株根系吸收, 也易随雨水渗透到地表深处或被雨水冲刷而发生淋失, 特别在降水量较大的年份, 损失就更严重; 硝态氮的有效性主要受降水量和土壤质地的影响, 因此, 施用硝态氮的效果, 以降雨适中的年份和地区较好。沙质土壤通透性好, 反硝化作用弱, 硝态氮不易损失, 烟叶产量较高, 质量较好。铵态氮则能被 2:1 型黏土矿物的晶格固定, 成为固定态铵或非交换性铵, 不能被烟株直接吸收, 使铵态氮的有效性受土壤的成土母质、pH 值和施肥方式的影响。

一般认为烟草只施用铵态氮会导致烟株生长过旺, 烟叶品质下降。但氮素施用量少时, 铵态氮和硝态氮对烟株的生育和烟叶质量的影响差别不大。试验结果表明, 烟株第一平展叶叶柄基部硝酸盐浓度测定值与田间施氮量, 特别是烟田前期土壤无机氮含量有很好的相关性。说明在不同区域、不同土壤条件下, 烟株烟叶中硝酸盐含量对外界供氮水平的反应均比较敏感 (李文卿等, 2004; 陆永宪等, 2004; 江荣风等, 2004)。

硝态氮和铵态氮二者在土壤根际的迁移、吸收和同化也不尽相同。硝态氮迁移的速率远大于铵态氮。一般认为硝态氮吸收是一个主动吸收过程, 可以逆浓度差吸收, 因此具有积累效应。对铵态氮吸收, 有人认为其吸收机理类似钾离子, 因此它们具有共同的载体, 表现出竞争效应 (陈子明, 1996)。也有人研究认为相当一部分铵态氮不是以 NH_4^+ 的形态吸收, 而是去质子后以 NH_3 的形式透过原生质膜进入植株体内, 因此可以造成介质酸化。硝态氮被烟草吸收以后, 其中一部分进入根细胞的液泡中贮存起来, 大部分在根中同化为烟碱、氨基酸和蛋白质或者以硝态氮形式通过木质部往地上部运输后再同化, 也可以以烟碱、氨基酸形式通过韧皮部运往地上部参与代谢, 运往烟叶的硝态氮也可以进入烟叶液泡暂时贮存起来, 以一种半储备状态存在于烟草内 (晁逢春, 2003)。在整个烤烟生育期内, 烟株前期吸氮较多后期吸氮较少, 呈现“少时富, 老来贫”的规律 (Collins et al, 1994), 即在移栽后 30 d 吸收急剧上升, 40~50 d 达到最大吸收速率, 然后快速下降。

植物对两种形态氮素的同化既可在根中进行,也可在叶中进行,而且初级同化产物可以双向运输(韩锦峰,2003)。几乎所有吸收的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 被根组织同化,并以氨基酸形式被运输和利用。由于烟草不可以直接利用硝态氮,被吸收到烟株体内的硝酸盐必须经过代谢还原成氨(NH_3)后才能被利用,在此还原过程中需要通过8个电子进行还原,同时需要消耗较多的能量。植物对 NO_3^- 的还原,首先在细胞质中由硝酸还原酶(nitrate reductase, NR)催化还原为 NO_2^- ,再转运到质体中,由亚硝酸还原酶(nitrite reductase, NiR)催化还原为 NH_4^+ (潘瑞炽,2003)。过去人们认为谷氨酸脱氢酶(GDH)是同化 NH_4^+ 的主要酶,它可以催化如下反应: $\alpha\text{-酮戊二酸} + \text{NH}_3 + \text{NAD(P)H} + \text{H}^+ = \text{L-谷氨酸} + \text{NAD(P)}^+ + \text{H}_2\text{O}$ (汪沛洪,1995)。但是后来研究表明,GDH对 NH_3 亲和力非常低(Lea et al, 1992)。目前对植物叶片同化 NH_4^+ 较统一的观点是以GS/GAGOT循环为主要途径(Yu et al, 1988)。但是也有研究认为GDH在烟草叶片氮素同化中仍然扮演着重要的角色(Haw, 2002)。试验证明,移栽后7周内,烟株吸收的肥料氮显著高于土壤氮;但7周以后,烟株吸收的土壤氮迅速增加。在烟叶采收结束时,烟株总吸氮量中土壤氮含量均超过50%(巨晓棠等,2003),说明打顶后烟株的吸氮量继续增加,并且这部分氮素主要来自土壤矿化。

土壤氮素矿化的潜在能力与土壤有机质含量高低有直接的关系,有机质含量越高,烟株吸收氮素的能力也越强(李志宏等,2004)。单德鑫利用 ^{15}N 示踪研究了烤烟对不同形态氮的吸收利用规律。结果表明,烤烟各部位烟叶对氮素的积累量表现为中部叶>上部叶>下部叶,并且随着硝态氮比例的增加,植株各部位吸氮量也相应增加,当硝态氮比例达75%时,吸氮量出现最大值;肥料氮进入的比例具有下部叶>中部叶>上部叶的规律,这充分说明了铵态氮和硝态氮配合施用能提高烤烟各部位对氮素肥料的吸收利用,其原因是硝态氮与铵态氮形成优势互补,硝态氮促进烟株早发快长,铵态氮保证后期持续供给不早衰。这样既保证烟株健壮生长,又促进了烤烟地上部对氮素肥料的吸收利用。不同生育期肥料氮进入烟叶中的比例,以团棵期最高,之后肥料氮进入的比例减少。统计分析结果表明(5%水平),从现蕾期到成熟期之间差异不大。同位素 ^{15}N 标记肥料施入土壤后39%~53%被烟株吸收利用,22%~41%损失,20%~37%残留于土壤中(单德鑫等,2007;刘泓等,2006)。而土壤固定氮则随铵态氮增加而增加,这与铵离子的土壤吸附特性有关。损失氮量无明显规律性,但可以看出,完全为硝态氮的处理,肥料损失率高于其他处理,这是由于硝态氮不易被吸附、易淋溶流失造成的(单德鑫等,2004)。国内外烟草专家曾就氮素形态对烟叶产质量影响做过大量研究,但因自然环境和栽培条件不同而导致研究结果不一致。

2.1.2 氮素营养对光合作用的影响

2.1.2.1 氮素营养对叶绿素含量的影响

氮素对作物叶绿素合成、光合速率、暗反应的主要酶活性以及光呼吸等都有明显的影响,直接或者间接影响着光合作用(荆家海,1994)。氮素也是叶绿素的主要成分,施氮一般能促进植物叶片叶绿素的合成(薛青武等,1989)。不同的氮素形态对作物叶片叶绿素含量影响不同。在烤烟生长前中期,增施 NH_4^+ ,叶片叶绿素含量增加,但是若以全部铵态氮为氮源时叶片叶绿素含量反而下降;在烤烟生长后期,功能叶片叶绿素含量基本上与施用 NH_4^+ 比例高低一致,以100% NH_4^+ 处理的叶绿素含量最高,另外,提高 NH_4^+ 施用比例,烤烟功能叶片的希尔反应活性及光合磷酸化活性有所提高,但P/O值(P/O ratio)基本不变(郭培国等,1999),即线粒体氧化磷酸化活力基本不变。在弱光下,供应 NH_4^+ 的叶片叶绿素含量显著高于供应 NO_3^- 的叶片,强光下正好相反(朱祝军等,1998)。

2.1.2.2 氮素营养对光合同化关键酶活性的影响

氮素形态影响光合同化关键酶活性。RuBPCase是 C_3 植物(烟草)碳同化的关键酶之一。研究证明,高浓度 NH_4^+ 下, RuBPCase 活性降低,这可能是由于高浓度的 NH_4^+ 导致质膜去极化,致使光合磷酸化解耦联,抑制 CO_2 暗固定,降低光合效率(张福锁,1993)。但 Raab 得出的结果却相反,在正常氮浓度下,甜菜叶片的 RuBPCase 活性在 NH_4^+ 营养下比在 NO_3^- 营养下高(Raab et al, 1994)。不同形态氮素营养使光合羧化酶活性及其酶蛋白含量不同,最终导致了光合暗反应和叶片光合速率的差异,可能是不同形态氮素处理下光合性能不同的重要原因之一。

2.1.2.3 氮素营养对光合生理特性的影响

烟叶的光合性能与叶绿素含量关系密切(刘雪松等,1991)。刘卫群等(2004)采用水培方法研究了不同形态氮素和饼肥浸提液对烤烟光合生理特性的影响,结果表明,纯铵态氮处理的烤烟光合速率(Pn)、

气孔导度 (Sc)、蒸腾速率 (Tr)、胞间 CO_2 浓度 (Ci) 处于最低水平, 培养 20 d 后, 铵态氮与硝态氮以 1:1 配比处理的各项光合生理指标处于较高水平, 在 24 d 时光合速率分别是其他处理的 1.8 倍、1.6 倍、2 倍。

张仁椒等 (2007) 在土壤有效氮含量对烤烟代谢及氮素营养的影响结果表明, 土壤碱解氮 + [H] (加还原剂) 含量与烤烟吸氮量呈极显著正相关, 土壤碱解氮 + [H] 含量为 195.76 mg/kg 时, 烟叶的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、胞间 CO_2 含量、硝酸还原酶活性达到最大。邓世媛等 (2005) 研究表明, 氮素营养的施用在干旱胁迫下对烤烟的光合作用有促进作用。江力等 (2000) 研究了不同氮素、钾素水平下烤烟 (NC89) 的光合作用生理, 结果表明, 高氮、高钾水平下, 烟叶的光合放氧速率、光合电子传递活性、RuBP 羧化酶 (RuBPCase) 及碳酸酐酶 (CA) 活性显著上升, 叶绿素含量变化不大; 低氮、低钾水平下, 光合放氧速率、叶绿素含量、光合电子传递活性、RuBPCase 活性显著下降, CA 活性略有下降。比较而言, 钾素对烟叶光合作用的影响大于氮素。

郭培国等在 1996~1997 年连续两年进行了固定氮素用量, 改变铵态、硝态氮肥的施用比例试验, 对烤烟的一些光合生理特性进行了研究。试验结果表明, 在烤烟生长前中期, 提高铵态氮施用比例, 烤烟的叶绿素含量增加, 当达到 100% 铵态氮时, 叶绿素含量反而下降, 低于施用 50% 和 75% 铵态氮的处理; 在烤烟生长后期, 功能烟叶叶绿素含量基本上与施用铵态氮比例高低一致, 以 100% 铵态氮处理的叶绿素含量最高。另外, 提高铵态氮施用比例, 烤烟功能烟叶的希尔反应活性及光合磷酸化活性有所提高, 但 P/O 值基本不变 (郭培国等, 1999)。刘卫群等 (2004) 研究表明, 烤烟在水培条件下 NH_4^+ 和 NO_3^- 配施在光合特性上优于单纯的 NH_4^+ 或 NO_3^- , 且比例 1:1 时光合速率等生理指标都处于较高水平。也有研究表明 (Armasrde et al, 1992), 增施 NH_4^+ , 烟株单位面积的光合速率并没有减少, 在两种形态氮素上, 也没有发现与光合作用相关的生化反应有显著的差别。

2.1.3 氮素营养对烟草碳氮代谢的影响

2.1.3.1 氮素营养对硝酸还原酶活性的影响

硝酸还原酶 (Nitrate Reductase, NR) 是 NO_3^- 同化过程中第一个诱导酶, 是植物氮代谢中的一个重要调节和限速酶。自 1934 年 Green 等在大肠杆菌中, 1953 年 Evans 和 Nasons 在大豆提取液中先后发现 NR。1957 年我国学者汤佩松、吴相钰发现该酶的诱导特性以来, 许多学者对该酶的结构、功能、作用机理进行了深入细致的研究。尽管 NR 是诱导酶, 但也有试验证明在增铵营养时, NR 活性比单一 NO_3^- 营养要高 (Gashaw et al, 1981)。

施氮量直接关系到硝酸还原代谢及整个氮代谢的强弱, 随氮用量的增加硝酸还原酶活性呈增加趋势 (王月福等, 2002; 韩延等, 2003; 宗会等, 2004)。但氮素浓度过大反而降低烤烟烟叶硝酸还原酶 (NR) 活性, 不利于烟苗的氮代谢 (刘国顺等, 2007)。史宏志等 (1999) 研究表明, 烟草生长前期, NR 活性与无机氮相关性大, 后期则与有机氮相关性大; 李建伟等 (2003) 研究表明, 随着 NO_3^- 用量下降和 NH_4^+ 用量增加, NR 的活性变化并不受 $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 值的支配。

2.1.3.2 氮素营养对谷氨酰胺合成酶、谷氨酸合成酶活性的影响

谷氨酰胺合成酶 (Glutamine Synthetase, GS)、谷氨酸合成酶 (Glutamate synthase, GOGAT) 在植物体内 NH_4^+ 同化主要是以 GS/GOGAT 途径协同作用进行的, 在 NH_4^+ 同化的 GS/GOGAT 途径中, GOGAT 也是限速酶, 其活性除受株龄、植物种类影响外, 也受氮素形态影响。GS 催化的反应需要光合提供还原力 ATP, 谷氨酰胺到谷氨酸的转化不仅需要 redFD, 而且需要 α -酮戊二酸作碳架, 此过程由谷氨酸合成酶催化, 因此 GS/GOGAT 是 NH_4^+ 同化的必经途径, 且与植物的碳代谢联系密切。

刘卫群等 (2004) 研究了不同氮素形态及配比对烤烟硝酸还原酶 (NR)、谷氨酰胺合成酶 (GS) 活性和总氮、烟碱含量的影响。结果表明, 移栽后 30 d 至采收结束, 单施铵态氮处理的 NR、GS 活性一直保持相对较高的水平; 自移栽后 30~76 d 烟叶总氮含量的变化, 单施硝态氮的总氮含量增加了 53.4%, 单施铵态氮的增加了 60.23%, 硝态氮与铵态氮等比施的增加了 23.75%, 其中硝态氮与铵态氮等比处理的增加最少; 成熟期烟碱含量随硝态氮肥比例增加有下降趋势。

2.1.3.3 氮素营养对淀粉酶活性的影响

淀粉是烤烟积累的一种重要的物质, 其含量多少也是烟叶的一项重要品质指标。在烤烟达到生理成熟时烟叶中淀粉含量较高, 调制后大部分淀粉分解为还原糖, 少量分解为中间产物, 如糊精等 (史宏志等,

1999;董惠萍,1999;李建伟等,2003)。凌寿军等(2001)研究表明,对烟株下部叶、中部叶和上部叶分别在淀粉含量最大的生理成熟期后1~2 d、4~5 d和6~7 d内采收,可获得最佳产质量。在烟叶淀粉积累和分解的过程中,淀粉酶是一个关键酶,在烟叶生长成熟过程中,烟叶中淀粉酶活性变化为双峰曲线,峰值分别出现在叶片功能盛期和成熟期,在烟叶成熟期以前淀粉酶活性与施氮量呈正相关,成熟期则呈负相关(史宏志,1999)。

不同施氮量对淀粉酶活性影响明显,但是对淀粉含量影响不明显(杨焕文等,2003)。史宏志等(1997)研究表明,烟草只具有酸性转化酶,随着施氮水平的增高,烟叶各时期的转化酶活性均升高,表明增施氮肥可以促进碳代谢。硝态氮、铵态氮各占50%有利于碳氮代谢的协调进行(岳俊芹等,2004)。张新要等(2005)认为硝酸还原酶随硝态氮比例的增加酶活性呈上升趋势,而谷氨酰胺合成酶活性的变化趋势则与之相反;转化酶和蔗糖合成酶对烟草烟叶生长发育的作用时期不同,即转化酶在烟草烟叶发育中期,蔗糖合成酶在烟叶发育后期发生作用。在云南玉溪沙红壤上以配施60%硝态氮复合肥有利于烟叶中碳代谢,而在水稻土上以配施40%硝态氮复合肥有利于烟叶中碳代谢。铵态氮比例过大不利于烟叶碳氮代谢的适时转化。

2.1.4 氮素营养对烟叶化学成分的影响

氮是限制烟株生长和品质产量的首要因素,它在烟株生长发育过程中起着重要作用(曹志洪,1993)。成熟烟叶的全氮含量约为干物重的1%~2.5%。氮对烟叶品质的作用在于氮是蛋白质、烟碱的重要组成部分,对烟叶香气组成、吸味及刺激性均有重要作用。因此,施用氮肥对烤烟的产量和质量影响较大(刘齐元等,1995;赵宏伟等,1997;安德艳等,1998;周宽余等,1998)。不适量的氮素供应将导致烟叶质量恶化,特别是氮素过多,会导致烟株氮代谢旺盛、碳氮代谢失调,烟叶中烟碱含量过量积累,烟叶贪青晚熟,难以正常生理成熟,不易调制,质量严重下降(曹志洪等,1988;王饮量等,1988;章启发等,1999;邓云龙等,2001)。烤烟生长前期需要吸收大量的氮素,以满足烟株的正常生长,成熟期吸收氮素较少,以利于烟叶适时落黄成熟。如果在烟株生长后期土壤中仍有较多的氮素供应,则易导致烟叶中烟碱含量过高。施氮量与烤烟烟叶总氮量、总生物碱和烟碱含量成正比,与还原糖、淀粉含量成反比(Khan et al., 1986)。提高氮肥施用量可以显著增加烟叶中烟碱的含量(胡国松等,2000;李文卿等,2007;祖艳群等,2002)。李春俭等(2007)认为,氮素是烟碱合成的必需元素,占烟碱分子的17.3%,烟株含氮量越高,能够用于合成烟碱的氮素越多,烟碱含量也会越高。因此,随着施氮水平的提高,打顶后烤烟植株的烟碱含量也会相应提高,但当季施氮量的多少不是控制烟碱含量高低的决定因素。

韩延等(2003)研究了不同氮用量对香料烟生育期内生理特性及品质的影响,结果表明,调制后烟叶总氮、烟碱、蛋白质和钾的含量均随氮用量的增加而增加,还原糖的含量则以施氮量30 kg/hm²的处理较高,氮用量对氯离子含量影响不明显。方先兰等的研究与此结果相似,当在中等施氮水平时变幅不大,在超过130 kg/hm²时,蛋白质含量变幅较大。方先兰的研究结果表明,随着施氮量的增加,总糖和还原糖含量呈下降趋势,各品种以施135 kg/hm²纯氮处理的烟叶品质最佳(方先兰等,2007)。靳冬梅等(2005)研究发现,烟叶可溶性蛋白含量均随着营养液氮浓度的增加逐渐上升,到125 mg/L时达最大值,随后又逐渐降低。表明氮素浓度过大反而降低水溶蛋白含量,前期缺氮胁迫会严重影响烟苗的蛋白质合成(刘国顺等,2007),而且氮素对不同作物的蛋白质各组分含量的影响程度不同(Tsai et al., 1992)。鲜烟叶硝酸盐含量随硝态氮比例和施氮量的增加而呈现上升趋势,其含量相应低于烤后烟叶,并与烤后烟叶的硝酸盐和亚硝酸盐含量之间均存在着极显著的正相关关系(许自成等,2005)。烤后烟叶多酚类物质含量随施氮量的增加而增加,但芳香值以施氮量45.0 kg/hm²时最高(王爱华等,2007)。

烤烟体内氮素的积累一方面受到土壤供氮强度的影响,另一方面也与烤烟本身生物学特性有关,如催化吸收的氮素与各种代谢所需的蛋白质或氨基酸转化的酶活性强弱等有关(Stehr et al., 2001; Mifflin et al., 2002)。Elvira等(2004)认为,在半干旱地区,氮肥利用率在很大程度上决定于降水量、降水时间和氮肥施用时间。汪耀富等(2004)在研究干旱胁迫条件下氮用量对烤烟养分积累与分配及烟叶产量和品质的影响中指出,氮用量影响烟株体内养分的分配,随施氮量增大,伸根期烟株体内大多数养分在根和茎中的分配比例增加,在叶中的分配比例减少;旺长期和成熟期则相反,并且增加氮用量可以提高烟叶产量和总氮含量、烟碱含量,降低烟叶还原糖含量。而团棵期前烤烟的干物质和氮素积累都相对较少(Moustakasa et al., 2005)。不施氮处理根干重最小,根系硝酸还原酶(NR)活性和根系活力最低。施氮