

# 氮、磷、钾对烤烟碳氮代谢关键酶活性及其经济效益的影响

赵宪凤<sup>1</sup>, 刘卫群<sup>1</sup>, 王树会<sup>2</sup>

(1. 河南农业大学 国家烟草栽培生理生化研究基地, 河南 郑州 450002; 2. 云南省烟草农业科学研究院, 云南 玉溪 653100)

**摘要:** 为探讨氮、磷、钾肥对烤烟碳氮代谢关键酶活性及其经济效益影响, 采用田间小区试验, 测定了缺氮、缺磷、缺钾和氮磷钾正常(CK)处理烤烟不同生育时期碳氮代谢关键酶即硝酸还原酶(NR)、谷氨酰胺合成酶(GS)、蔗糖磷酸合成酶( SPS)、蔗糖合成酶(SS)和转化酶(INV)的活性变化。结果表明: 在烟叶的氮代谢过程中, NR活性主要在烟叶生长发育前期起作用, 与CK相比, 氮、磷、钾素缺乏分别使烟叶NR活性下降35.9%、13.4%、19.5%, 但移栽后85 d无差异显著性; 在碳代谢过程中, SPS、SS和INV活性主要在烟叶生育中期起作用, 缺氮能显著降低碳代谢关键酶活性, 而缺磷、钾素则表现不明显, 很可能与试验田磷钾含量较高有关。缺氮处理对烟叶的产量、产值影响最大, 与CK处理相比, 分别降低了19.7%、13.2%。缺磷、钾素处理与CK差异不显著。因此, 烤烟为达到优质高产, 首先要确保氮肥供应充足, 同时要适当控制磷钾肥用量。

**关键词:** 氮磷钾; 烤烟; 碳氮代谢; 产量; 产值

中图分类号: S572 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2012)04-0181-05

## Effects of N P K on Activity of Key Enzymes for Carbon and Nitrogen Metabolism and Economic Benefit of Flue-cured Tobacco

ZHAO Xian-feng<sup>1</sup>, LIU Wei-qun<sup>1</sup>, WANG Shu-hui<sup>2</sup>

(1. National Tobacco Research Center, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2. Yunnan Academy of Tobacco Agricultural Sciences, Yuxi 653100, China)

**Abstract:** The purpose of the paper was to study the effect of N, P, K fertilizer on the activeness of key enzymes involved in C and N metabolism during leaf development and the economic benefit of flue-cured tobacco. Four different treatments (i. e. nitrogen, phosphorus, potassium deficiency and CK) were designed in a field experiment to study the enzyme activeness of nitrate reductase (NR), Glutamina synthetase (GS), sucrose phosphate sythase (SPS), sucrose synthase (SS) and invertase (Inv). The results showed that NR was majored at the early growth stage of flue-cured tobacco. Compared with CK, the NR activity of N, P and K lack treatments decreased by 35.9%, 13.4% and 19.5%, respectively, but no significant difference was detected after 85 d of transplanting. In the process of carbon metabolism, the key enzymes SPS, SS and INV played a major role at the middle growth stage. N deficiency could decrease significantly the activeness of key enzyme, while P and K deficiencies had no obvious affect, probably because of the higher levels of phosphorus and potassium in the experiment plots. The effect of N lack on leaf yield and output value of flue-cured tobacco was the greatest compared to CK, decreased by 19.7% and 13.2% respectively, and the lack of P and K elements had no significant difference with CK. This indicated that N fertilizer should be sufficient, and P and K elements should be controlled properly in order to obtain flue-cured tobacco with high yield and good quality.

**Key words:** Nitrogen, phosphorus, potassium; Flue-cured tobacco; Carbon and nitrogen metabolism; Yield; Output value

收稿日期: 2011-10-24

基金项目: 云南省烟草公司科技项目(2010YN04-08A01)

作者简介: 赵宪凤(1986-), 女, 河南安阳人, 在读硕士, 主要从事烟草栽培及生理研究。

通讯作者: 王树会(1970-), 女, 云南昆明人, 副研究员, 博士, 主要从事烟草营养与栽培研究。

烟草是我国重要的经济作物之一,在烤烟品种和生态条件一定的条件下,烟叶生长发育过程中的物质代谢和烟叶品质与施肥水平密切相关。碳氮代谢是烤烟植株最基本的生理代谢过程,其代谢强度及在生长发育过程中的动态变化对烟叶的产量和品质形成有重大影响。氮、磷、钾是烟草正常生长发育所必需的大量营养元素,对碳氮代谢过程中各种关键酶活性变化起着决定性的调节作用,探讨氮、磷、钾对烤烟碳氮代谢关键酶活性的动态变化规律,对于研究烟叶品质形成机制有重要意义。

近年来,关于氮、磷、钾肥与烟叶碳氮代谢关键酶的研究已有诸多报道,其中,史宏志等<sup>[1]</sup>认为,在烟草碳氮代谢中,施氮量直接关系到硝酸还原及整个氮代谢的强弱,适当增施氮素对光合作用中碳固定代谢有显著的促进作用。刘国顺等<sup>[2]</sup>研究认为,不同施磷量对烟叶中后期淀粉酶活性有影响,增施磷肥用量可以明显提高淀粉酶的活性,使碳代谢能力增强。钾素作为某些酶的催化剂,能直接参与烤烟的碳氮代谢和多种物质的合成及运输,增强烤烟的抗逆性,改善烟叶的燃烧性,还与烟叶吃味、香味、香气量有关<sup>[3-5]</sup>。目前,虽有大量文献报道了不同肥料对烤烟碳氮代谢关键酶的影响,但从侧面研究氮、磷、钾素缺乏对烤烟碳氮代谢关键酶影响的报道较少。鉴于此,本试验研究了氮、磷、钾元素缺乏对烤烟碳氮代谢关键酶活性动态变化的影响,以期为指导烤烟合理施用氮、磷、钾肥,提高烟叶的产量和品质提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

试验于2010年在云南省烟草农业科学研究院研和试验基地进行。供试烤烟品种为K326,土壤养分含量为:有机质15.2 g/kg,全氮0.90 g/kg,水解氮70.5 mg/kg,速效磷48.5 mg/kg,速效钾71.8 mg/kg,pH值7.51。

### 1.2 试验设计

试验设置4个处理:A1、A2、A3分别为缺氮、磷、钾处理,CK为氮磷钾正常处理。各处理施肥方案见表1,3次重复,随机区组排列。氮、磷、钾肥分别由硝酸铵、普钙、硫酸钾提供,磷肥全部作为基肥,氮肥和钾肥的基肥和追肥比例均为4:6。将漂浮育苗后的移栽苗按行距110 cm、株距55 cm种植,试验地设保护行,烟株移栽后69 d打顶,留叶数18~22片,移栽后120 d采收完。田间管理按优质烟生产技术措施实施。

表1 试验设计方案

处理 Treatment	氮 N	磷 P	钾 K
A1	0	105	210
A2	105	0	210
A3	105	105	0
CK	105	105	210

### 1.3 取样和分析测定方法

在移栽后50 d选定长势一致的烟株,自下而上选第18片挂牌。分别在移栽后65、75、85、95、105 d取样。鲜烟叶取下后立即用液氮冷冻,存于-80℃冰箱待用;杀青样品用冰盒带回,105℃杀青15 min,60℃烘干备用。定叶位测定烟叶中的碳氮代谢关键酶活性。

硝酸还原酶(NR)活性测定参照Ferrario-Méry的方法<sup>[6]</sup>,谷氨酰胺合成酶(GS)活性测定参照周忠新的方法<sup>[7]</sup>,蔗糖磷酸合成酶(SPS)活性测定参照Baxter的方法<sup>[8]</sup>,蔗糖合成酶(SS)活性测定参照文献<sup>[9]</sup>的方法,转化酶(INV)活性测定采用砷钼酸比色法<sup>[10]</sup>。利用Excel和DPS软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 氮、磷、钾对烤烟氮代谢关键酶的影响

2.1.1 氮、磷、钾对烤烟NR的影响 NR是烟株氮代谢的关键酶和限速酶,也是氮代谢水平的直接反映。从表2可以看出,除A1处理外,其他各处理烟叶NR活性均随着烤烟生育期的推进而逐渐下降,至移栽后85 d达到最低。说明在烟叶生长发育前期(移栽后65 d)氮代谢旺盛,NR起主要作用,烟株可充分地吸收利用氮素;到生育中后期,氮代谢运转速度减慢,NR活性迅速降低,转入以碳代谢为主的代谢过程,进行碳水化合物积累,且有利于烟叶的落黄,改善烟叶品质<sup>[11]</sup>。

表2 不同处理对烤烟NR酶活性的影响

处理 Treatment	移栽后时间/d Day after transplant		
	65	75	85
A1	16.984c	0.552c	0.696a
A2	22.932b	0.701b	0.683a
A3	21.331b	0.752b	0.503a
CK	26.482a	1.0662a	0.602a

注:同列不同小写字母表示在0.05水平上差异显著。表3~7同。  
Note: Means within column followed by different letters are significantly different at  $P < 0.05$ . The same as Tab. 3-7.

不同施肥处理对烟叶NR活性影响效应不一致,在移栽后65、75 d,CK处理NR活性最高,与其

他处理相比均达到显著水平,说明氮磷钾正常(CK)处理,可使烟株氮、磷、钾营养达到平衡,氮代谢旺盛;而A1、A2、A3处理在移栽后65 d的烟叶NR活性分别比CK降低35.9%、13.4%、19.5%,说明氮、磷、钾缺乏大大降低了烟叶氮代谢强度,使烟叶氮的吸收和同化代谢变弱;在移栽后85 d,A1、A2、A3处理与CK处理差异不显著,说明在烟株生育中后期,肥料对烟叶NR影响较小。

2.1.2 氮、磷、钾对烤烟GS活性的影响 从表3可以看出,在移栽后65 d,各处理的GS活性均较高;不同肥料处理对烟叶中的GS活性有一定的影响,A1、A3处理GS活性分别比CK处理低53.2%、

36.8%。随着烟叶的生长,GS活性下降,到移栽后85 d最低;移栽后85~105 d GS活性又呈上升趋势。这可能是因为前期土壤氮素含量高,NR还原的氮素较多刺激了烟株的氮代谢,随着土壤中可利用氮素降低,烟株GS活性也随之降低,至移栽后95 d GS活性又升高,标志着烟株氮素的重新分配。在烟叶各生长发育时期,A2、CK处理GS酶活性较高,说明磷肥缺乏在一定范围内激活了GS;A1处理GS活性比CK处理低6.8%~59.9%,A3处理(移栽后105 d除外)比CK处理低4.7%~36.8%,说明缺氮、缺钾则会抑制烟株氮代谢,使氮代谢强度减弱,不利于氮素代谢向碳代谢的转化。

表3 不同处理对烤烟GS酶活性的影响

Tab.3 The effect of different treatments on the activities of GS

U/(g·h)

处理 Treatment	移栽后时间/d Day after transplant				
	65	75	85	95	105
A1	35.084b	10.256c	6.826c	25.565b	54.258c
A2	87.359a	16.857ab	9.590b	65.780a	87.926a
A3	47.361b	14.859b	8.953b	60.733a	68.277b
CK	74.950a	19.277a	13.547a	63.705a	58.218c

## 2.2 氮、磷、钾对烟叶碳代谢关键酶的影响

2.2.1 氮、磷、钾对SPS的影响 碳代谢主要由SPS控制叶内蔗糖合成,其活性的高低代表叶片光合产物转化为蔗糖的能力,是蔗糖合成的关键酶。从表4可以看出,烟叶SPS活性在移栽后65~75 d时较高,随烟叶生育进程的推进,各处理的SPS活性降低,移栽后105 d时SPS活性最低。说明在烟叶生长前期,蔗糖代谢旺盛,蔗糖含量主要在前期积累,而随着烟叶生长发育的推进,烤烟碳同化能力下降,代谢减弱,此时期SPS活性减小,淀粉含量可能会增加,进而破坏叶绿体的光合作用,叶片进一步开始次生代谢过程。

试验结果表明,在烟叶生长发育过程中,各处理的SPS活性高低不同,移栽后75 d之前各处理之间无显著差异,说明氮、磷、钾对烟叶生长前期SPS活性影响较小;移栽后85 d,除A1处理的SPS酶活性比CK降低34.2%外,A2、A3处理比分别比CK提高2.2%、12.6%;移栽后95 d时SPS活性大小表现为A3>A2>CK>A1,且A1比CK低13.9%;到移栽后105 d各处理SPS活性无显著性差异。在烟株生长中后期(移栽75 d之后),与CK相比,缺氮抑制了烟叶的SPS活性,而缺钾处理在一定程度上不但对SPS活性无抑制作用,反而会刺激SPS活性升高,缺磷对烟叶SPS活性影响不明显。

表4 不同处理对烤烟SPS酶活性的影响

Tab.4 The effect of different treatments on the activities of SPS

mg/(g·min)

处理 Treatment	移栽后时间/d Day after transplant				
	65	75	85	95	105
A1	2.961a	2.922a	1.595c	1.783b	1.205a
A2	3.077a	2.866a	2.479b	2.225ab	1.171a
A3	2.950a	3.014a	2.775a	2.614a	1.543a
CK	2.852a	3.150a	2.425b	2.071ab	1.638a

2.2.2 氮、磷、钾对烟叶的SS的影响 SS存在于细胞质中,分解蔗糖生成腺苷二磷酸葡萄糖(UDPG)和果糖,用来合成淀粉等碳水化合物。从表5可以看出,在烟叶生长发育过程中,各处理的SS活性变化趋势基本一致,均呈现出先下降后升高的趋势,在生长后期活性较高。

试验结果表明,移栽后65 d,A1、A2和A3处理

的SS活性显著低于CK,分别比CK降低48.4%、31.4%和35.6%;在移栽后95 d之前,与其他处理相比,A1处理SS活性一直处于较低水平,说明缺氮在一定程度上影响烟叶物质积累,特别是淀粉等碳水化合物的积累,而与缺氮相比,磷、钾素缺乏对SS活性影响效果不明显;在移栽后105 d,A3处理显著高于其他处理,分别比A1、A2和CK处理高35.21%、

59.71% 38.62%。

表5 不同处理对烤烟 SS 酶活性的影响

Tab.5 The effect of different treatments on the activities of SS

U/(g·h)

处理 Treatment	移栽后时间/d Day after transplant				
	65	75	85	95	105
A1	0.248c	0.190b	0.546a	0.552b	0.730b
A2	0.330b	0.291a	0.558a	0.579b	0.618c
A3	0.310b	0.191b	0.607a	0.707a	0.987a
CK	0.481a	0.250a	0.603a	0.820a	0.712b

2.2.3 N、P、K对烟叶 INV 的影响 INV 与植物的碳代谢密切相关。INV 可催化细胞质中蔗糖转化形成单糖,促进叶绿体中磷酸丙糖向外运转,使叶绿体中淀粉积累减少,光合碳固定过程加强。在甘蔗等其他作物上,已将其活性作为衡量碳代谢强度的重要指标。从表6可以看出,不同处理的转化酶活性在烟叶生长发育过程中基本呈现先升高后下降的趋势,且代谢高峰出现在移栽后85d,说明该时期烟叶代谢比较旺盛,INV 在烤烟碳代谢的作用主要发生在烟叶中后期(移栽后85d)。

试验结果表明,在移栽后65d,各处理 INV 活性较低,处理间差异不显著;在移栽后75d,CK 的

INV 活性显著高于其他处理,分别是 A1、A2、A3 处理 INV 活性的 1.08 倍、1.40 倍、1.37 倍;移栽后 85 d, A1、A2 和 A3 处理的 INV 活性分别比 CK 降低了 35.6%、9.9%、0.4%;移栽后 95 d, INV 活性迅速下降,与移栽后 85 d 相比,CK 的降幅达到 62.9%,其次是 A3、A1、A2,分别为 50.7%、23.5%、20.3%;在移栽后 105 d,各处理 INV 活性没有显著差异性。由此表明氮素对 INV 活性的影响最大,低氮胁迫下烟叶的 INV 活性受到了抑制,光合碳固定过程减弱,而磷、钾对烟叶的碳代谢关键酶影响在本试验中表现不明显。

表6 不同处理对烤烟 INV 酶活性的影响

Tab.6 The effect of different treatments on the activities of INV

mg/(g·h)

处理 Treatment	移栽后时间/d Day after transplant				
	65	75	85	95	105
A1	16.837a	18.698b	47.117b	36.060b	31.187a
A2	18.755a	14.397c	65.989a	52.572a	29.402a
A3	19.371a	14.777c	72.938a	35.968b	28.350a
CK	19.130a	20.198a	73.216a	27.140c	29.538a

### 2.3 氮、磷、钾对烤烟经济效益的影响

从表7可以看出,烟叶产量表现为 A2 > A3 > CK > A1,且 A1 处理显著低于其他处理,其中比 CK 降低了 19.7%,A2、A3 处理与 CK 差异不显著,说明氮肥对烟叶的产量影响很大,磷、钾肥对其产量影响较小;烟叶产值表现为 A3 > CK > A2 > A1,A1、A2 处理分别比 CK 降低了 13.2%、2.1%,说明缺施氮

肥对烟叶产值影响也较大。A2 处理虽然在各处理中的产量最高,但由于其上等烟所占比例最低,仅为 29.92%,所以产值相对较低,说明缺磷在一定程度上影响烟叶的碳水化合物的积累,对烟叶的产值、产量也有一定的影响。A3 处理的产值、产量均较高,中等烟所占比例较小,缺钾对烟叶产值、产量的影响较小。

表7 不同处理对烤烟经济效益的影响

Tab.7 The effect of different treatments on tobacco economical benefit

处理 Treatment	上等烟比例/%	中等烟比例/%	产量/(kg/hm <sup>2</sup> )	产值/(元/hm <sup>2</sup> )
	Percentage of superior tobacco	Percentage of medium tobacco	Yield	Cross value
A1	56.79a	34.51c	2473.35b	39192.45b
A2	29.92c	48.42a	3180.15a	44189.70a
A3	45.06b	33.79c	3091.95a	45972.60a
CK	40.31b	40.29b	3081.75a	45157.65a

## 3 结论与讨论

从氮、磷、钾素对烟株的碳氮代谢关键酶活性、

烟叶的产量和产值的影响综合来看,氮素在烟株的生长发育过程中,起着不可忽视的作用。试验结果表明,与氮磷钾正常供应的对照处理相比,缺氮处理

严重影响了烟叶氮代谢强度,同时也使得烤烟的碳代谢降低,碳固定和碳积累过程减弱,严重地阻碍了烟株正常的生理代谢,碳水化合物积累减少,使其产量、产值分别降低 19.7% 和 13.2%,影响颇大。磷、钾也是烟株生长发育过程中所必需的营养元素,但与缺氮处理相比,影响效果在本试验中表现不明显。原因可能与试验田磷钾含量较高有关,还有待进一步研究。

在农业生产过程中,氮、磷、钾肥均是烟株生长发育过程中的大量元素,其中,氮素是决定烟草产量和品质的重要因素;而磷肥在农业中的用量虽不断增加,但作物对磷肥的利用率却很低,当季利用率一般只有 5% ~ 10%,加上作物的后效,一般不超过 25%,大部分转化为植物难以利用的难溶性磷在土壤中积累起来,以致土壤中全磷量较高,而有效磷含量却很低,与其他大量营养元素相比,吸收量远较氮、钾少。因此,烤烟施肥应当适当控磷增氮,保证烟叶优质;在技术上做到平衡施肥,以降低农业生产成本、提高肥料利用率,增产增效,同时减少土壤污染。

#### 参考文献:

- [1] 史宏志,韩锦峰. 烤烟碳氮代谢几个问题的探讨[J]. 烟草科技,1998(2):34-36.
- [2] 刘国顺,彭智良,黄元炯,等. N、P 互作对烤烟碳氮代谢关键酶活性的影响[J]. 中国烟草学报,2009,15(5):33-37.
- [3] 林克惠,战以时,李永梅. 不同施钾量对烤烟品质影响[J]. 云南农业大学学报,1994(2):112-117.
- [4] 韩锦峰,郭月清,刘国顺. 烤烟干物质积累和氮磷钾吸收及分配规律的研究[J]. 中国烟草学报,1987(1):8-17.
- [5] 周冀衡,朱显灵,汪邓明. 不同氮肥形态、浓度对烟草生长和钾素吸收影响的研究[J]. 中国烟草学报,1996(1):70-77.
- [6] Ferrario-Méry S, Valadier M, Foyer C H. Overexpression of nitrate reductase in tobacco delays drought-induced decreases in nitrate reductase activity and mRNA [J]. Plant Physiology, 1998, 11(7):293-302.
- [7] 周忠新,王云华,张楚富. 菠菜叶中存在两种谷氨酰胺合成酶同工酶[J]. 武汉植物学研究,2004,22(6):572-574.
- [8] Baxte C J, Foyer C H, Turner J, et al. Elevated sucrose-phosphate synthase activity in transgenic tobacco sustains photosynthesis in older leaves and alters development [J]. Journal of Experimental Botany, 2002, 54(389):1813-1820.
- [9] 中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京:科学出版社,1999:126.
- [10] 汪沛洪. 基础生物化学实验指导[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1985.
- [11] 杜君,介晓磊,刘世亮,等. 有机酸对烤烟生长发育及生理代谢的影响[J]. 河南农业科学,2008(2):35-38.
- [12] 史宏志,韩锦峰,赵鹏. 不同氮量与氮源下烤烟淀粉酶和转化酶活性动态变化[J]. 中国烟草科学,1999(3):5-8.