



# 烤烟不同基因型钾营养特性研究

许杰<sup>1,2</sup>, 马文广<sup>2</sup>, 何冰<sup>3</sup>, 武恒燕<sup>1</sup>, 孙志浩<sup>1</sup>, 薛刚<sup>1</sup>, 杨铁钊<sup>1</sup>

1 河南农业大学烟草学院, 郑州市文化路95号 450002;

2 玉溪中烟种子有限责任公司, 玉溪南祥路14号 653100;

3 河南省烟草公司许昌市公司, 许昌湖滨路43号 461000

**摘要:** 为深入了解烤烟钾营养特性, 选择烟叶钾含量具有差异的品种, 在正常供钾和无外源钾条件下, 研究了烤烟不同基因型对矿物钾活化、吸收、转运和积累的特性。结果表明: 在供钾充足条件下, 高钾基因型烤烟干物质积累、各部位钾含量和体外钾吸收效率显著高于低钾基因型, 根系吸收钾素能力、向叶片中转运钾素能力较强。在无外源钾条件下, 高钾基因型烤烟烟叶钾含量和整株钾积累量显著低于低钾基因型, 耐低钾能力和根系吸钾能力显著低于低钾基因型。高钾基因型烤烟在缺钾时, 会通过增大根系量, 提高根冠比, 增强对生长介质中矿物钾的活化来提高烟株根际钾含量, 但是由于根系吸钾能力较弱, 对活化出的钾素未能充分利用。高钾基因型具有对钾素敏感, 吸收、转运和积累钾素能力强, 钾响应度高, 但是不耐低钾的特点, 这对于高钾烤烟品种选育和营养施肥具有指导意义。

**关键词:** 烤烟; 钾吸收效率; 钾响应度; 耐低钾能力

**引用本文:** 许杰, 马文广, 何冰, 等. 烤烟不同基因型钾营养特性研究 [J]. 中国烟草学报, 2017, 23 (6)

钾是植物生长发育所必需的矿质营养元素, 参与植株体内碳、氮代谢等多项生命活动, 与植物的抗病、抗逆性密切相关<sup>[1]</sup>。烟草是喜钾作物, 钾能显著提高烟叶燃烧性和安全性, 增强色度和填充性, 改善香吃味, 提高烟叶品质<sup>[2]</sup>, 国内外一直将烟叶钾含量作为评定烤烟品质的一个重要指标。我国烟叶钾含量普遍偏低, 与国际优质烟叶差距很大, 这已成为限制我国优质烟叶生产的主要因素之一<sup>[3]</sup>。烟叶中的钾含量是由品种、生态条件以及钾肥施用技术等共同决定的, 国内外许多学者从农艺措施、施肥技术、理化调控、土壤改良等角度提高烟叶钾含量, 取得了显著效果<sup>[4-6]</sup>。由于我国钾矿资源短缺、进口钾肥成本较高, 因此, 选育烟叶钾含量高、钾肥利用率高的品种, 是解决我国烟叶钾含量偏低的有效途径。

对于作物高钾基因型的筛选有很多参考指标, 如钾含量、钾吸收效率、钾响应度、耐低钾能力以及根系的形态学特征和生理特性等<sup>[7-11]</sup>, 其中钾含量是最直接的区分指标。研究表明, 不同作物以及同一作物不同品种(系)间, 对钾的吸收、利用和积累存在显著差异, 且这种差异可以稳定遗传<sup>[12]</sup>。杨铁钊<sup>[13]</sup>和

焦芳婵<sup>[14]</sup>等分别通过杂交选育的杂交种豫烟6号和云烟203, 在相同种植条件下8~11和14~17两个叶位烟叶钾含量均高于对照品种。目前, 我国对高钾基因型烤烟选育的研究还不够完善, 对烤烟钾营养特性还缺乏综合性的基础理论研究, 烟叶钾含量总体上未有较大提高。只有全面了解烤烟钾素营养特性, 才能更好的利用品种资源, 从而发挥遗传优势。本试验在大田试验的基础上, 研究了高钾和低钾两种基因型烤烟, 在正常供钾和无外源钾只靠烟株自身活化生长基质中矿物钾两个钾水平下烤烟对钾素的活化、吸收、转运和积累能力, 外源钾吸收效率、钾响应度和耐低钾能力, 以及根系生理特性等方面基因型的差异, 深入探讨了不同基因型烤烟钾营养特性, 分析品种间存在的差异及其原因, 以期高钾基因型的选育和营养施肥提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

选用秦烟96、农大202、农大203和云烟85为试验材料。其中, 农大202、农大203为河南农业大

**基金项目:** 河南省烟草公司科技项目 (HYKJZD201401)

**作者简介:** 许杰 (1989—), 硕士研究生, 主要从事烟草遗传育种研究, Email:xujie2025@126.com

**通讯作者:** 杨铁钊 (1956—), 教授, 博士生导师, 主要从事烟草遗传育种研究, Email:yangtiezhao@126.com

**收稿日期:** 2017-03-27; **网络出版日期:** 2017-12-01

学烟草育种实验室选育的新品系；秦烟 96 主要在陕西省与河南省的西部烟区种植；云烟 85 是在全国种植面积较大的品种，选用品种（品系）大田中部叶含钾量见图 1。

## 1.2 试验设计

### 1.2.1 大田试验

大田试验于 2015 年在河南农业大学科教园区实施，试验地土壤为轻壤质潮土，基本理化性状为有机质 11.50 g/kg，全氮 0.85 g/kg，全磷 0.11 g/kg，速效钾 120 mg/kg，缓效钾 675 mg/kg，pH7.67。

烟苗 5 月初移栽，每公顷施底肥纯氮 40 kg， $m(N) : m(P_2O_5) : m(K_2O) = 1:2:3$ 。分别于移栽后 30d、40d 和 50d 追施硫酸钾肥，平均每株 5 g/次，配置成溶液穴施于距离主茎 20 cm 处（为常规施钾量的 2 倍）。每个材料各栽 30 株，行株距 1.2 m × 0.5 m，大田常规管理。各基因型烟草仅在中部叶成熟期（移栽后 90 ~ 100d）取 11 ~ 14 叶位烟叶杀青测定烟叶钾含量。

### 1.2.2 盆栽试验

采用何冰等<sup>[15]</sup>设计的装置种植烟草（装置无肥水流失），以钾长石作为生长基质（速效钾为 0，缓效钾 68.91 mg/kg，全钾 10.9%），采用正常供钾（K+）和不供钾（K-）两个供钾水平的 Hoagland 营养液，营养液配制情况见表 1。营养液无钾时，烟株生长所需钾素由根系活化基质中矿物钾获得。选取 5 ~ 6 片真叶生长一致的壮苗移栽于盛有 5 kg 钾长石的塑料盆中，各基因型每个处理 24 株，根据烟株生长需求还苗期每天浇灌 50 mL 营养液，伸根期每天浇灌 100 mL 营养液，旺长期每天浇灌 200 mL 营养液，常规管理。

烟苗正常生长 55d 后，选取生长一致的烟株，根、茎、叶分别取样，测定各基因型烟草各部位鲜干重、钾含量和植烟基质中速效钾含量。另取长势一致的烟株，3 株为 1 个混合样测定根系活力、根系 ATP 酶活性和根系 CEC，每个指标重复测定 3 次。

表 1 试验中正常供钾 (6mmol/L) 和不供钾 (0.00mmol/L) 营养液各组分含量

Tab.1 Components of Hoagland solution under different potassium levels

处理	化合物 / (mg/L)							复合物 / (mL/L)	
	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	KNO <sub>3</sub>	NaNO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	KH <sub>2</sub> PO <sub>3</sub>	NaH <sub>2</sub> PO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	EDTA-Fe	微量元素
K+	945	506	-	80	136	-	493	5	2.5
K-	945	-	425	80	-	156	493	5	2.5

注：定容前用 0.01 mol/L NaOH 溶液调节营养液 pH 到 5.5~6.0。

Notes: The pH of the nutrient solution should be adjusted to 5.5~6.0 with 0.01 mol/L NaOH before setting the volume.

## 1.3 测定项目与方法

### 1.3.1 钾含量测定

将所取烟叶和烟株各部位在 105℃ 杀青 15 min，60℃ 烘干至恒重，磨碎后过 60 目筛，火焰光度法测定钾含量<sup>[16]</sup>。植烟基质中速效钾含量参照《土壤农化分析》测定<sup>[17]</sup>，称取 20 g 充分混匀的基质于 100 mL 干燥的锥形瓶中，加入 50 mL 1.0 mol/L 醋酸铵溶液，震荡 20 min 后过滤，用火焰光度计测定提取液中钾含量。

### 1.3.2 根系活力

用 TTC 法测定根系活力，排水法根系体积<sup>[18]</sup>。

### 1.3.3 根系 ATPase 活性

利用 K<sup>+</sup>-ATPase 试剂盒(南京建成生物公司)测定，以每小时每毫克根系组织蛋白的组织中 ATP 酶产生 1 μmol 无机磷的量为一个 ATP 酶的活力单位。称取 0.2 g 鲜根与按重量 (g) : 体积 (mL) = 1: 9 的比例加入生理盐水，冰水浴条件下研磨、制备成 10 % 的匀浆

液，4℃ 下 6000 × g 离心 15 min，取上清液 1 mL 加入 4ml 生理盐水稀释成 2 % 的匀浆，之后根据试剂盒使用步骤进行测定。

### 1.3.4 根系阳离子交换量 (Cation Exchange Capacity, 简称 CEC)

依据崔国贤等<sup>[8]</sup>的方法，将用蒸馏水冲洗过的根系在 80℃ 烘至恒重，粉碎过 40 目筛。准确称取 0.20 g 上述样品，加入 200 mL 浓度为 0.01 mol/L HCl 震荡 5 min 后过滤，用约 200 mL 去离子水冲洗滤渣，用 200 mL 浓度为 1 mol/L、pH 为 7.0 的 KCl 溶液冲洗滤渣到 250 mL 的烧杯中，以 7 ~ 8 滴酸碱混合指示剂（1 体积 1 g/L 中性红的乙醇溶液与 1 体积 1 g/L 亚甲基蓝的乙醇溶液混合，pH7.0 时为紫蓝色）指示滴定终点，用 0.01 mol/L KOH 滴定。

## 1.4 数据处理分析

体外钾素吸收效率<sup>[15]</sup> = 吸钾量 (mg/株) / 植烟

体系内总钾量 (mg/株) × 100 %

其中, 吸钾量为取样时烟株钾积累量 (单株) 与初始烟苗钾积累量 (单株) 的差值, 植烟体系内总钾量为取样时烟株钾积累量 (单株) 与其生长介质中速效钾总量的和。

钾响应度<sup>[19]</sup> = [有钾干物质重 (g) - 无钾干物质重 (g)] / 施钾量 (g)

耐低钾能力 = 无钾叶鲜重 (g) / 有钾叶鲜重 (g)

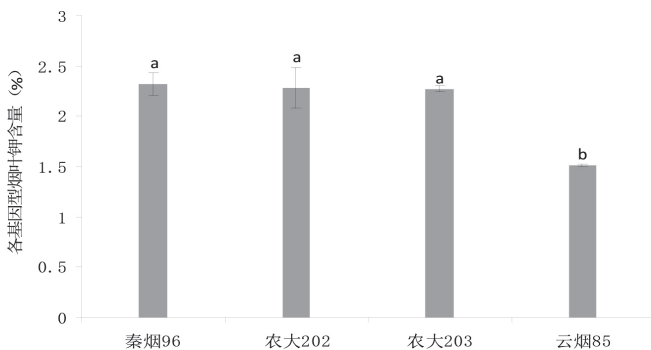
矿物钾活化能力用植烟基质中速效钾含量来表示。

采用 DPS7.05 进行统计分析, 多重比较用 LSD 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同基因型烤烟大田烟叶钾含量差异分析

大田烟叶钾含量高是高钾基因型烤烟的显著特点。在烟叶旺长前后追施 3 次钾肥后, 对各基因型烤烟在田间中部叶成熟期的烟叶钾含量测定结果见图 1。从图 1 可以看出, 在充足供钾情况下, 各基因型烤烟中部叶钾含量秦烟 96、农大 202 和农大 203 较高, 分别达到 2.32 %, 2.28 % 和 2.27 %, 而云烟 85 较低, 仅达到 1.51 %。统计分析结果表明, 秦烟 96、农大 202 和农大 203 烟叶钾含量差异不显著, 但是都显著的高于低钾品种云烟 85。



注: 数值后面不同小写字母表示用 LSD 检验差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ )。

Notes: Means followed by the small letters are significantly different at 5% levels by LSD test, respectively.

图 1 不同基因型烤烟大田中部叶钾含量

Fig.1 The K content difference of central leaf of Flue-cured tobacco in genotypes

### 2.2 不同基因型烤烟干物质积累差异

各基因型烤烟在不同供钾条件下的干物质积累结果列于表 2 中。从表 2 可以看出, 在正常供钾条件下, 高钾基因型烤烟的干物质积累总量显著高于低钾基因型烤烟, 秦烟 96、农大 202 和农大 203 的总干重分别比云烟 85 高 37.29 %、24.21 % 和 16.68 %。其中, 秦烟 96、农大 202 和农大 203 的叶干重分别比云烟 85 高 2.21 g、5.29 g

和 5.57 g, 而根干重分别是云烟 85 的 1.21 倍、1.39 倍和 1.18 倍; 秦烟 96 的茎干重显著高于其他 3 个品种, 但是农大 202、农大 203 和云烟 85 的茎干重差异不显著; 地上部干物质积累秦烟 96 最高, 其次为农大 202 和农大 203, 云烟 85 最低, 差异达到显著水平; 4 个烤烟基因型根冠比秦烟 96 最低, 其他 3 个基因型差异不显著。

与正常供钾相比, 缺钾条件不同程度的降低了各基因型烤烟根、茎和叶的干物质积累。秦烟 96、农大 202 和农大 203 叶干重分别下降 33.73 %、40.64 % 和 45.34 %, 高于云烟 85 的降幅 33.12 %, 地上部干物质积累下降幅度 59.22 %、55.29 % 和 57.79 % 以及总干物质积累下降幅度 57.91 %、54.42 % 和 56.37 %, 降幅也高于云烟 85 的 44.06 % 和 45.99 %。显然, 缺钾条件对高钾基因型烤烟干物质积累的影响更大。但在无外源钾条件下, 3 个高钾基因型烤烟的根干重显著高于云烟 85, 分别是云烟 85 的 1.29 倍、1.48 倍和 1.27 倍, 所以相比于云烟 85 根冠比下降了 20.83 %, 秦烟 96、农大 202 和农大 203 的根冠比却分别提高了 20.00 %、11.11 % 和 16.67 %。

### 2.3 不同基因型烤烟钾素吸收和转运能力

不同基因型烤烟根、茎、叶和植烟基质 (钾长石) 中钾含量以及烟株不同部位转运钾素的能力列于表 3 中。结果显示, 在正常供钾条件下, 秦烟 96、农大 202 和农大 203 叶、茎和根系中的钾含量均显著高于低钾基因型云烟 85, 其中叶中钾含量分别是云烟 85 的 1.27 倍、1.22 倍和 1.15 倍; 烟株收获后, 3 个高钾基因型烤烟基质中剩余速效钾含量均低于低钾基因型, 差异达到显著水平, 这表明高钾基因型烤烟根系吸收基质中钾的能力高于低钾基因型; 钾素从根到茎的转运能力, 4 个基因型差异不显著, 但是从茎到叶的转运能力高钾基因型显著高于低钾基因型。由表 3 可知, 无外源钾供应对烤烟不同基因型钾素吸收和积累影响较大, 缺钾大幅度降低了各基因型烟株各部位钾含量。秦烟 96、农大 202 和农大 203 烟叶钾含量显著低于云烟 85, 而基质中的速效钾含量却显著高于云烟 85 基质中的钾含量。此外, 缺钾降低了各基因型烤烟烟株体内转运钾素的能力。当钾素供应充足时, 各基因型烤烟叶中钾含量 > 茎中钾含量 > 根中钾含量; 而在无外源钾条件下, 各基因型烤烟茎中钾含量 > 叶中钾含量 > 根中钾含量; 高钾基因型烤烟从根到茎的转运能力高于低钾基因型, 而从茎到叶的转运能力低于低钾基因型, 这表明缺钾环境不利于钾素向烟叶中转运, 且缺钾对高钾基因型烟株中钾素转运的影响更大。

表 2 不同基因型烤烟干物质积累差异

Tab.2 Difference in dry matter accumulation of flue-cured tobacco in genotypes

处理	品种	叶干重 / (g/株)	茎干重 / (g/株)	根干重 / (g/株)	地上部干重 / (g/株)	总干重 / (g/株)	根冠比
K+	秦烟 96	24.58 ab	26.18 a	10.32 a	50.76 a	61.08 a	0.20 b
	农大 202	27.66 a	15.75 b	11.86 a	43.41 b	55.26 b	0.27 a
	农大 203	27.94 a	13.95 b	10.02 a	41.89 b	51.91 b	0.24 ab
	云烟 85	22.37 b	13.59 b	8.52 b	35.97 c	44.49 c	0.24 ab
K-	秦烟 96	16.29 a	4.41 a	5.02 ab	20.70 a	25.71 a	0.24 ab
	农大 202	16.42 a	3.00 b	5.78 a	19.41 a	25.19 a	0.30 a
	农大 203	15.27 a	2.41 b	4.97 ab	17.68 a	22.65 a	0.28 a
	云烟 85	14.96 a	5.17 a	3.90 b	20.12 a	24.03 a	0.19 b

注：同列中数值后面不同小写字母表示用 LSD 检验差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ )

Notes: Within column, means followed by the small letters are significantly different at 5% levels by LSD test, respectively.

表 3 不同基因型烤烟各部位钾含量及转运能力差异

Tab.3 Difference in K content and transportation of flue-cured tobacco in genotypes

处理	品种	叶钾 / (mg/g)	茎钾 / (mg/g)	根钾 / (mg/g)	基质 / (ug/g)	茎 / 根	叶 / 茎
K+	秦烟 96	39.23 a	31.17 a	3.12 a	38.57 b	9.99 a	1.26 a
	农大 202	37.77 a	30.62 a	3.06 a	41.90 b	10.01 a	1.23 a
	农大 203	35.57 a	30.44 a	3.04 a	43.24 b	10.01 a	1.17 a
	云烟 85	30.99 b	28.24 b	2.82 b	73.90 a	10.01 a	1.09 b
K-	秦烟 96	2.34 b	3.44 a	0.55 a	4.31 a	6.26 a	0.68 b
	农大 202	2.64 b	3.72 a	0.57 a	4.24 a	6.52 a	0.71 b
	农大 203	2.23 b	3.23 a	0.51 a	4.19 a	6.34 a	0.69 b
	云烟 85	3.23 a	3.75 a	0.72 a	2.22 b	5.17 b	0.86 a

注：同列中数值后面不同小写字母表示用 LSD 检验差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ )

Notes: Within column, means followed by the small letters are significantly different at 5% levels by LSD test, respectively.

## 2.4 不同基因型烤烟钾营养特性差异

体外钾吸收效率表示植物吸收环境中钾素的能力。由表 4 可知，当钾素供应充足时，秦烟 96、农大 202 和农大 203 单株钾积累量分别比低钾基因型云烟 85 高 711.45 mg/株、462.22 mg/株和 347.87 mg/株，而体外钾素吸收效率则分别是云烟 85 的 1.41 倍、1.33 倍和 1.32 倍，差异达到显著水平；当钾素供应不足时，3 个高钾基因型烤烟的单株钾积累量和体外钾素吸收效率低于云烟 85，差异达到显

著水平。钾响应度是指植物吸收单位钾素导致的干物质量的增加幅度，耐低钾能力为无钾营养液培养产量与有钾营养液培养产量的比值，反应了不同基因型烤烟对低钾的适应性程度，该值越接近 1，说明低钾条件下产量越接近正常钾处理，该基因型越耐低钾，对低钾条件越不敏感。从表 4 可以看出，秦烟 96、农大 202 和农大 203 的钾响应度分别是云烟 85 的 1.85 倍、1.59 倍和 1.57 倍，耐低钾能力却显著低于云烟 85。

表 4 不同基因型烤烟钾营养特性差异  
Tab.4 Difference in potassium nutrient characteristics of Flue-cured Tobacco in genotypes

品种	钾积累量/(mg/株)		体外钾吸收效率/%		钾响应度	耐低钾能力
	K+	K-	K+	K-		
秦烟 96	1812.50 a	56.05 b	72.96 a	76.35 b	18.35 a	0.48 b
农大 202	1563.27 b	57.80 b	69.21 a	78.46 b	15.76 a	0.46 b
农大 203	1448.92 b	44.37 c	68.13 a	73.27 b	15.61 a	0.45 b
云烟 85	1101.05 c	70.52 a	51.96 b	93.23 a	9.93 b	0.58 a

注：同列中数值后面不同小写字母表示用 LSD 检验差异达到显著水平 ( $P<0.05$ )

Notes: Within column, means followed by the small letters are significantly different at 5% levels by LSD test, respectively.

### 2.5 不同基因型烤烟根系生理特性差异

移栽后 55d 的烟株处于旺长期，此时烟株代谢旺盛，对矿质元素的吸收量最大，该时期是反映植株对矿质元素吸收基因型间差异的最佳时期。各基因型在不同供钾条件下，根体积、根系活力、ATP 酶活性和阳离子交换量 (CEC) 如表 5 所示。当钾供应充足时，秦烟 96、农大 202 和农大 203 的根体积、根系活力、ATP 酶活性和 CEC 均高于云烟 85，差异达到显著水平，表明高钾基因型烤烟吸收钾素能力强于低钾基因型。

而在无外源钾条件下，秦烟 96、农大 202 和农大 203 的根体积均大于云烟 85，分别是云烟 85 的 1.38

倍、1.38 倍和 1.49 倍，这表明高钾基因型烤烟在缺钾时往往通过增大根系量、促进对基质中矿物钾的活化来满足自身的需要；缺钾明显降低了各基因型烟草的根系活力，3 个高钾基因型烤烟的根系活力下降幅度分别为 43.67 %、43.23 % 和 46.53 %，远远高于云烟 85 的降幅 22.93 %，这表明缺钾对高钾基因型烤烟根系活力的影响要大于低钾基因型；秦烟 96、农大 202 和农大 203 的 ATP 酶活性和 CEC 在钾素供应不足时则显著低于云烟 85，这表明高钾基因型烤烟的根系在缺钾条件下的代谢减弱，吸收和转运  $K^+$  的能力下降。

表 5 不同基因型烤烟根系生理特性差异  
Tab.5 Difference in root physiological characteristics of flue-cured tobacco in genotypes

处理	品种	根体积/ $cm^3$	根系活力/ ( $\mu g/g \cdot FW/h$ )	ATP 酶活性/ ( $\mu g \text{ Pi/g} \cdot FW/h$ )	阳离子交换量/ ( $me \cdot 100/g$ )
K+	秦烟 96	45.33 a	213.76 a	192.61 a	32.67 a
	农大 202	48.33 a	223.54 a	182.46 a	31.67 a
	农大 203	52.33 a	219.72 a	179.78 a	30.67 a
	云烟 85	37.33 b	127.80 b	141.79 b	23.00 b
K-	秦烟 96	32.67 a	120.42 a	46.86 b	15.67 b
	农大 202	32.67 a	126.91 a	45.72 b	16.33 b
	农大 203	35.33 a	117.49 a	50.29 b	16.33 b
	云烟 85	23.67 b	98.50 a	72.24 a	20.33 a

注：同列中数值后面不同小写字母表示用 LSD 检验差异达到显著水平 ( $P<0.05$ )

Notes: Within column, means followed by the small letters are significantly different at 5% levels by LSD test, respectively.

### 3 讨论

彭玉富<sup>[20]</sup>的研究发现,高钾基因型烤烟在充足供钾条件下不同部位干物质和钾积累均高于一般基因型;高钾烤烟钾吸收能力强、钾高效积累持续时间长、吸钾总量大于钾含量一般的烤烟。张喜琦<sup>[21]</sup>的研究表明,吸钾效率高的烟草品种在大田生长各生育期内烟叶钾含量始终高于吸钾效率低的烟草品种,且与吸钾效率低的品种相比,吸钾效率高的品种更有利于钾向烟叶中而不是向茎秆和根系中积累。本研究中,高钾基因型烤烟大田中部叶成熟期烟叶钾含量显著高于低钾基因型,旺长期烟株各部位钾含量、单株钾积累量和干物质积累量显著高于低钾基因型,烟株体内的钾向叶片中的转运能力也显著高于低钾基因型,这与彭玉富和张喜琦的研究结果一致。

体外钾吸收效率越高,植株吸收利用环境中钾素能力越强<sup>[15]</sup>。植物根系生理特性与钾素吸收能力密切相关:水稻钾高效吸收基因型表现出根系发达、根系体积和吸收面积大的特点<sup>[22]</sup>;钾高效吸收的棉花的根系活力高于吸钾效率低的品种<sup>[23]</sup>;不同基因型籽粒苋吸钾能力强的具有更高的ATP酶活性和CEC<sup>[24]</sup>;且在对植物钾响应度的研究中,小麦钾低响应度品种在整个生育期对钾的反应基本稳定,而钾高响应度品种对钾的反应变化较大<sup>[19]</sup>。本研究中,高钾基因型烤烟对环境中的钾素反应比较敏感,干物质积累量在两个供钾水平间变化幅度较大;且相比较于低钾基因型,高钾基因型在正常供钾条件下,表现出根系体积大、活力强、ATP酶活性高和CEC大等特点,即高钾基因型根系代谢旺盛、吸收和转运钾素能力强。因而高钾基因型体外钾素吸收效率显著高于低钾基因型,根际基质中速效钾含量显著低于低钾品种,高钾基因型烤烟具有更高的钾吸收效率和钾响应度。

植物耐低钾能力在基因型间存在显著差异,水稻耐低钾与不耐低钾品种间吸钾能力相差1.58倍,根重相差1.77倍<sup>[25]</sup>。低钾胁迫下大豆耐低钾品种植株干重、单株粒重、各器官钾含量和钾积累量下降幅度小于低钾敏感型<sup>[26]</sup>。高钾烤烟基因型在生长前期耐低钾能力较强,在旺长期耐低钾能力低于一般基因型<sup>[27]</sup>。研究表明,植物可通过调节根系分泌物的合成和分泌,促进土壤中缓效钾的活化、提高钾素的吸收效率来应对低钾胁迫<sup>[28]</sup>。籽粒苋富钾基因型根系分泌能力和根际钾的富集能力显著高于一般基因型<sup>[29]</sup>。本研究中,高钾基因型在无外源钾条件下通过增大根系量来增强对基质中矿物钾的活化,根际速

效钾含量显著高于低钾基因型,这除了表明高钾基因型根系活化矿物钾能力强外,还表明高钾基因型能够吸收的最低 $K^+$ 浓度也较高,与杨志晓等<sup>[27]</sup>研究发现的烤烟在旺长期可吸收的最低 $K^+$ 浓度( $C_{min}$ )较高的结论一致;与正常供钾相比,高钾基因型在无外源钾条件下比低钾基因型更早的出现缺钾症状,且高钾基因型根系活性、吸收和转运 $K^+$ 能力、钾素和干物质积累大幅下降,所以高钾基因型耐低钾能力低于低钾基因型。

调控植物钾吸收积累的基因很多,它是一个复合性状<sup>[30-31]</sup>,因此利用基因工程技术转入单个基因以求提高烟叶钾含量的效果有限。影响烟叶钾含量的因素也有很多,如品种、土壤、气候、栽培技术和管理等<sup>[32]</sup>,提高烟叶钾含量应从多个方面考虑。高钾基因型对于提高烟叶钾含量和环境中的速效钾利用效率具有重要作用,本试验证明选育高钾品种应集中在烟株的根系生理特性、钾素吸收效率、钾响应度这些性状上,且在相对较高的供钾水平下进行选择才能得到较好的效果。另一方面,在生产上要发挥高钾基因型的作用,在旺长期要重视钾素的供应量,及时追施钾肥,防止缺钾。

### 4 结论

在正常供钾条件下,高钾基因型烤烟干物质积累量、烟叶钾含量和对环境中钾素的吸收效率均显著高于低钾基因型,根系吸收钾素能力、向叶片中转运和积累钾素能力较强;在无外源钾供应条件下,高钾基因型烤烟烟叶钾含量和整株钾积累量、耐低钾能力和根系吸钾能力显著低于低钾基因型;高钾基因型烤烟对钾素反应比较敏感,钾响应度高。

### 参考文献

- [1] 陆景陵. 植物营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 50-59.  
LU Jingling. Plant nutrition science[M]. Bei Jing: China Agricultural University Press, 2001: 50-59.
- [2] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 143-145.  
LIU Guoshun. Tobacco cultivation science[M]. Bei Jing: China Agricultural Press, 2003: 143-145.
- [3] 牛佩兰, 石屹, 刘好宝, 等. 烟草基因型间钾效率差异研究初报[J]. 烟草科技, 1996(1): 33-35.  
NIU Peilan, SHI Yi, LIU Haobao, et al. Preliminary study on the difference of potassium efficiency in tobacco genotypes[J]. Tobacco Science and Technology, 1996(1): 33-35.
- [4] 解燕, 王文楷, 赵杰, 等. 烟草钾素营养与钾肥研究[J]. 中国农学通报, 2006, (8): 302-307.  
XIE Yan, WANG Wenkai, ZHAO Jie, et al. Potassium nutrition and potassium fertilizer for tobacco production[J]. Chinese Agricultural

- Science Bulletin, 2006, (8):302-307.
- [5] 闫慧峰, 石屹, 李乃会, 等. 烟草钾素营养研究进展 [J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(1):123-129.  
YAN Hui Feng, SHI Yi, LI Naihui, et al. Progress in tobacco potassium nutrition [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2013, 15(1):123-129.
- [6] 熊维亮, 李舟, 高明, 等. 我国烟草钾素营养研究进展 [J]. 四川农业科技, 2013, (01):46-47.  
XIONG Weiliang, LI Zhou, GAO Ming, et al. Progress in tobacco potassium nutrition in china [J]. Si Chuan Science and Technology, 2013, (01):46-47.
- [7] 王艺霖, 赵丽伟, 肖炳光, 等. 不同基因型烤烟的钾素营养特性 [J]. 江苏农业学报, 2012, 28(3):472-476.  
WANG Yilin, ZHAO Liwei, XIAO Bingguang, et al. Nutritional characteristics of potassium in flue-cured tobacco with different genotypes [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Science, 2012, 28(3):472-476.
- [8] 崔国贤, 李宗道. 苕麻不同基因型钾营养特性的研究 [J]. 农业现代化研究, 1997, (03):54-57.  
CUI Guoxian, LI Zongdao. Studies on characters of potassium nutrition of genotypes in ramie (*Boehmeria nivea* L.) [J]. Research of Agricultural Modernization, 1997, (03):54-57.
- [9] 韩燕来, 刘新红, 王宜伦, 等. 不同小麦品种钾素营养特性的差异 [J]. 麦类作物学报, 2006, 26(1):99-103.  
HAN Yanlai, LIU Xinhong, WANG Yilun, et al. Potassium nutrition characteristics of different wheat varieties [J]. Journal of Triticeae crops, 2006, 26(1):99-103.
- [10] 肖水平, 吴香华, 孙亮庆, 等. 棉花苗期钾营养效率的基因型分类及钾营养特性差异分析 [J]. 棉花学报, 2014, 26(6):546-554.  
XIAO Shuiping, WU Xianghua, SUN Liangqing, et al. Classification and analysis of potassium nutrition efficiency and characteristics in different cotton genotypes at seedling stage [J]. Cotton Science, 2014, 26(6):546-554.
- [11] 杨志晓, 张小全, 尚晓颖, 等. 富钾基因型烤烟根系形态和生理特性研究 [J]. 西北植物学报, 2009, (03):555-560.  
YANG Zhixiao, ZHANG Xiaoquan, SHANG Xiaoying, et al. Morphological and physiological characteristics of root in potassium-enriched flue-cured tobacco genotype [J]. Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin. 2009, (03):555-560.
- [12] Marschner H. Mineral Nutrition of High Plant. London: Academic press, 1986.
- [13] 杨铁钊, 张小全, 李群平, 等. 烤烟新品种豫烟 6 号的选育及特征特性 [J]. 中国烟草科学, 2010, 31(3):7-12.  
YANG Tiezhao, ZHANG Xiaoquan, LI Qunping, et al. Breeding and selection of flue-cured tobacco variety Yuyan6 and its characteristics [J]. Chinese Journal of Tobacco Science, 2010, 31(3):7-12.
- [14] 焦芳婵, 肖炳光, 李永平, 等. 烤烟新品种“云烟 203”的选育及特征特性 [J]. 西南农业学报, 2010, 23(3):625-628.  
JIAO Fangchan, XIAO Bingguang, LI Yongping, et al. Breeding and characteristics of Yunyan203, a new variety of flue-cured tobacco [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2010, 23(3):625-628.
- [15] 何冰, 韩助君, 薛刚, 等. 不同基因型烤烟钾吸收特性差异及吸收机理 [J]. 应用生态学报, 2015, (11):3367-3372.  
HE Bing, HAN Zhujun, XUE Gang, et al. Difference of potassium absorption characters and mechanism of tobacco in genotypes [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, (11):3367-3372.
- [16] 王瑞新, 韩富根. 烟草化学品质分析法 [M]. 郑州: 河南科技出版社, 1998:102-105.  
WANG Ruixin, HAN Fugen. Tobacco chemical quality analysis [M]. Zheng Zhou: Henan Science and Technology Press, 1998:102-105.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.  
BAO Shitan. Soil and agricultural chemistry analysis [M]. Bei Jing: China Agricultural Press, 2008.
- [18] 邹琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000:120-124.  
ZOU Qi. Experimental guidance of plant physiology [J]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000:120-124.
- [19] 邹春琴, 李振声, 李继云. 钾利用效率不同的小麦品种各生育期钾营养特点 [J]. 中国农业科学, 2002, 35(3):340-344.  
ZOU Chunqin, Li Zhensheng, Li Jiyun. Characteristics of potassium nutrition of six wheat cultivars at different growth stages [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35(3):340-344.
- [20] 彭玉富. 烤烟钾高效积累基因型钾积累与分配研究 [D]. 河南农业大学, 2003.  
PENG Yufu. Study on potassium accumulation and distribution of flue-cured tobacco in potassium high accumulation efficiency genotype [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2003.
- [21] 张喜琦. 不同基因型烟草钾效率的差异及机理研究 [D]. 山东农业大学, 2003.  
ZHANG Xiqi. Differences of potassium efficiency and mechanism of different tobacco genotypes [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2003.
- [22] Jia Y, Yang X, Feng Y, et al. Differential response of root morphology to potassium deficient stress among rice genotypes varying in potassium efficiency [J]. Journal of Zhejiang University Science, 2008, 9(5):427-434.
- [23] 王晓茹, 董合林, 李永旗, 等. 棉花不同品种钾吸收效率差异的根系形态学和生理学机理 [J]. 棉花学报, 2016, (02):152-159.  
WANG Xiaoru, DONG Helin, LI Yongqi, et al. Mechanisms underlying the effects of morphological and physiological characteristics of cotton varieties on differential potassium uptake efficiencies [J]. Cotton Science, 2016, (02):152-159.
- [24] 李廷轩, 张锡洲, 王昌全, 等. 根系 CEC、ATP 酶活性和根际微生物对籽粒宽富钾能力的影响 [J]. 四川农业大学学报, 2002, 20(4):354-356.  
LI Tingxuan, ZHANG Xizhou, WANG Changquan, et al. Effect of microorganism in rhizosphere and activity of ATP enzyme and CEC of roots on capability of enrichment in potassium of grain amaranth [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2002, 20(4):354-356.
- [25] 李共福. 耐低钾水稻品种筛选利用的研究 I. 水稻不同品种在低钾条件下的产量差异及耐低钾品种对钾的吸收利用特点 [J]. 湖南农业科学, 1985, (03):15-17.  
LI Gongfu. Screening and utilizing of low K-tolerant rice varieties under low potassium condition and the characteristics of potassium uptake and utilization of low K-tolerant rice varieties [J]. Hunan Agricultural Sciences, 1985, (03):15-17.
- [26] 李春红, 于海秋, 赵新华, 等. 低钾胁迫下不同低钾耐性大豆钾营养特性的差异 [J]. 土壤通报, 2013, 44(5):1173-1177.  
LI Chunhong, YU Haiqiu, ZHAO Xinhua, et al. Differences in nutrition characters of potassium in various soybean genotypes under low potassium stress [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2013, 44(5):1173-1177.

- [27] 杨铁钊, 杨志晓, 聂红资, 等. 富钾基因型烤烟的钾积累及根系生理特性 [J]. 作物学报, 2009, 35(3):535-540.  
YANG Tiezhao, YANG Zhixiao, NIE Hongzi, et al. Potassium accumulation and root physiological characteristics of potassium-enriched flue-cured tobacco genotypes[J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(3):535-540.
- [28] 黄雪丽, 胡应锋, 邹雪, 等. 钾高效基因型马铃薯钾素利用效率机制研究 [J]. 西南农业学报, 2013, 26(3):1094-1099.  
HUANG Xueli, HU Yingfeng, ZOU Xue, et al. K<sup>+</sup> utilization mechanism study of high K<sup>+</sup>-efficient materials potato ( *Solanum tuberosum* L.)[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2013, 26(3):1094-1099.
- [29] 李廷轩, 马国瑞. 籽粒苋不同富钾基因型根际钾营养与根系特性研究 [J]. 水土保持学报, 2004, 18(3):90-93.  
LI Tingxuan, MA Guorui. Nutrition of potassium in rhizosphere and characteristics of roots in different grain amaranth genotypes[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(3):90-93.
- [30] 鲁黎明, 杨铁钊. 植物 K<sup>+</sup> 吸收转运的分子机制研究进展 [J]. 棉花学报, 2006, 18(6):379-385.  
LU Liming, YANG Tiezhao. Advances in research of molecular mechanisms of potassium uptaking and transportation in plants[J]. Cotton Science, 2006, 18(6):379-385.
- [31] 王立梅, 刘奕清, 阮玉娟. 植物钾素研究进展 [J]. 中国园艺文摘, 2015, (5):71+148.  
WANG Limei, LIU Yiqing, RUAN Yujuan. Advances in research of potassium in plant[J]. Chinese Horticulture Abstracts[J]. 中国园艺文摘, 2015, (5):71+148.
- [32] 李静, 张锡洲, 李廷轩, 等. 烟草钾素营养特性及提高烟叶含钾量的主要途径 [J]. 湖南农业科学, 2013, (22):17-19+22.  
LI Jing, ZHANG Xizhou, LI Tingxuan, et al. The potassium nutrient characteristics and ways of improving potassium content of tobacco[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2013, (22):17-19+22.

## Study on potassium nutrient characteristics of flue-cured tobacco of different genotypes

XU Jie<sup>1,2</sup>, MA Wenguang<sup>2</sup>, HE Bing<sup>3</sup>, WU Hengyan<sup>1</sup>, SUN Zhihao<sup>1</sup>, XUE Gang<sup>1</sup>, YANG Tiezhao<sup>1</sup>

1 College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2 Yuxi Tobacco Seed Co., LTD, Yuxi 653100, Yunnan, China;

3 Henan Xuchang Municipal Tobacco Company, Xuchang 461000, Henan, China

**Abstract:** Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) has a relatively high requirement for potassium(K). In order to study K nutrient characteristics of flue-cured tobacco in depth, characteristics of mineral K activation, absorption, transport and accumulation of different flue-cured tobacco genotypes were studied under normal potassium supply(K<sup>+</sup>) and non-potassium supply(K<sup>-</sup>) conditions. Results showed that, the efficiency of K absorption, K responsivity and K content of high K genotypes were higher than those in low K genotypes. Absorbing ability of root, potassium content and dry matter accumulation of high K genotypes were significantly reduced under K<sup>-</sup> condition. Low K tolerance ability of high K genotypes was lower than that of low K genotypes. High K genotypes would increase activation of mineral K in growth medium to meet their own needs by increasing root volume and root-shoot ratio under K<sup>-</sup> condition, but the K content of plant was significantly reduced because the lowest K absorption concentration was higher. High K genotypes is sensitive to K, ability of absorption, transport and accumulation of K and the utilization ratio of K fertilizer are high, but low K tolerance ability is low, which has a guiding significance for high K flue-cured tobacco variety breeding and fertilization.

**Keywords:** flue-cured tobacco; K absorption efficiency; K responsiveness; low K tolerance ability

**Citation:** XU Jie, MA Wenguang, HE Bing, et al. Study on potassium nutrient characteristics of flue-cured tobacco of different genotypes [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, 23(6)

\*Corresponding author. Email: yangtiezhao@126.com