

# 烟草含钾量的基因型差异及钾高效品种筛选

杨欢<sup>1</sup>, 王勇<sup>1,2</sup>, 李廷轩<sup>1</sup>, 郑传刚<sup>3</sup>, 陈光登<sup>1\*</sup>

(1 四川农业大学资源学院, 四川成都 611130; 2 四川省烟草公司凉山州公司, 四川西昌 615000;

3 西昌学院农业科学学院, 四川西昌 615000)

**摘要:** 【目的】高含钾量是优质烟叶的一项重要指标。比较不同烟草品种的含钾量及其对施用钾肥的反应, 为筛选高钾基因型烟草品种提供基础。【方法】以 93 份烟草种质资源为研究对象, 在凉山州进行连续两年的大田试验。设置常规钾 ( $K_2O = 300 \text{ kg/hm}^2$ ) 与低钾 ( $K_2O = 150 \text{ kg/hm}^2$ ) 两个水平, 成熟期测定烟叶含钾量, 以聚类分析将烟草分类, 并分析其在不同叶位间的基因型差异。【结果】施钾量影响烟草上、中、下部叶片含钾量, 常规钾水平下的烟叶含钾量高于低钾水平, 常规施钾量下的上、中、下部烟叶含钾量分别为低钾水平下的 1.13、1.14、1.15 倍 (2014 年) 和 1.10、1.25、1.35 倍 (2015 年)。将烟叶含钾量进行聚类分析, 供试材料被划分为高钾型、普通型和低钾型 3 类, 并筛选获得了典型材料。高钾型烟草的上、中、下部烟叶含钾量均显著高于普通型及低钾型烟草材料。常规施钾水平下, 高钾型烟草的上、中、下部烟叶含钾量分别是低钾型的 1.50~1.92、1.54~2.52、1.31~2.36 倍; 低钾水平下分别为 1.27~1.93、1.66~2.24、1.72~1.73 倍。【结论】高钾基因型烟草上、中、下部烟叶的含钾量均显著高于普通型和低钾型; 普通型上部叶的含钾量与低钾型烟草之间无显著差异, 中、下部烟叶含钾量普通型显著高于低钾基因型。通过两年田间试验筛选获得了 6 份高钾型烟草材料, 包括嘎吉红大、长叶红大、达白 1 号、达白 2 号、MFZS、930032-7, 可应用于烟叶生产, 亦可为富钾基因型品种选育提供育种亲本材料。

**关键词:** 烟草; 含钾量; 基因型差异; 筛选

## Genotype differences in potassium contents of tobacco and screening of tobacco cultivars with high K efficiency

YANG Huan<sup>1</sup>, WANG Yong<sup>1,2</sup>, LI Ting-xuan<sup>1</sup>, ZHENG Chuan-gang<sup>3</sup>, CHEN Guang-deng<sup>1\*</sup>

(1 College of Resource Sciences, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;

2 Liangshan Branch of Sichuan Tobacco Company, Xichang, Sichuan 615000, China;

3 Academy of Agricultural Science, Xichang College, Xichang, Sichuan 615000, China)

**Abstract:** 【Objectives】Potassium content is one of the most important indexes of tobacco quality. Investigation on the K contents of tobacco cultivars will help screen K-efficient tobacco genotype. 【Methods】Field experiments were carried out for 2 years (2014–2015) in the main tobacco producing region of Xichang City, Sichuan Province. 93 tobacco germplasm resources were collected and grown under normal and reduced K application rates ( $K_2O$  300 and 150  $\text{kg/hm}^2$ ). The K contents of upper, middle and lower parts of leaves of tobacco were analyzed, and the genotypes were grouped into high, middle and low K-efficiency using clustering analysis method. 【Results】The K contents of the 93 germplasm resources were significantly different under the two K application rates, and the K contents under the normal K rate were significantly higher than those under the reduced K rate. The average K contents of the upper, middle and lower parts of leaves under the normal K rate were 1.13, 1.14 and 1.15 times of those under the reduced K rate in 2014, respectively, and were 1.10, 1.25 and 1.35 times in 2015. According to the K contents in leaves, the tested 93

收稿日期: 2016-03-15 接受日期: 2016-08-24

基金项目: 四川省教育厅重点项目 (14ZA0002); 四川省烟草公司凉山州公司科技项目 (2011) 资助。

作者简介: 杨欢 (1993—), 女, 四川岳池人, 硕士研究生, 主要从事烟草钾素营养特性研究。E-mail: yanghsicau@163.com

\* 通信作者 Tel: 028-86291325, E-mail: gdchen@sicau.edu.cn

genotypes were classified into high, common and low K content genotypes. The leaf K contents in the upper, middle and lower parts of tobacco with high-K efficiency were all higher than those of the other two genotypes. The K contents in the upper, middle and lower part of leaves of the high K content genotypes were respectively 1.50–1.92, 1.54–2.52, 1.31–2.36 (under the normal K application rate) and 1.27–1.93, 1.66–2.24, 1.72–1.73 (under the low K application rate) times of those of the low K content genotypes. **【 Conclusions 】** The high K content genotype materials selected in the two-consecutive-year experiment including Gajihongda, Changyehongda, Dabai 1, Dabai 2, MFZS and 930032-7 could be applied to the tobacco production and provided as parent materials for potassium-enriched tobacco breeding operation.

**Key words:** tobacco; K content; genotypic variation; screening

烟草是典型喜钾作物，烟叶含钾量的高低与烟叶品质密切相关，是衡量烟叶品质优劣的一项重要指标<sup>[1-5]</sup>。我国烟区土壤普遍缺钾<sup>[6-7]</sup>，与国际优质烟叶相比，北方烟区烟叶含钾量普遍偏低，平均含钾量不到 2%，严重制约烟叶品质的提升<sup>[8-9]</sup>。不同品种(基因型)烟草在吸钾能力和烟叶含钾量上存在差异<sup>[11-19]</sup>，通过育种挖掘作物自身潜力，提高烟株钾素营养效率，对促进我国优质烟叶生产具有十分重要的意义。

已有研究采集的种质资源数量较少，品种类型单一，大多是在固定植烟生态区或单一钾水平下进行<sup>[12]</sup>，筛选结果具有偶然性。烟叶含钾量的分析较少区分叶片部位，不利于客观反映烟草吸收钾素对烟叶品质的影响<sup>[8-9, 13]</sup>。本研究收集了 93 份烟草种质资源，在我国优质烟叶生产基地凉山州连续进行了两年田间试验，分析不同品种烟草的含钾量及不同钾营养基因型烟草在不同施钾量下的钾营养性状，并在此基础上进行了高钾基因型烟草的筛选。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试材料由四川省凉山州烟草公司及中国农业科学院烟草研究所提供，包括烤烟、香料烟、雪茄烟、白肋烟等在内共 93 份烟草品种(系)。

2014 年试验于西昌市中坝乡“神八大凉山清甜香烤烟太空育种科技园区”(102°10'12"E, 27°41'24"N)进行，供试土壤为黄棕壤，其基本理化性质为有机质 17.71 g/kg、全氮 0.92 g/kg、碱解氮 87.01 mg/kg、有效磷 16.00 mg/kg、速效钾 75.96 mg/kg、缓效钾 387.28 mg/kg、pH 5.76。2015 年试验位于西昌市大兴乡“中国农业科学院西南试验基地”(102°21'36"E, 27°49'48"N)，供试土壤为紫色土，其基本理化性质为有机质 38.72 g/kg、全氮 2.15 g/kg、碱解氮 146.20 mg/kg、有效磷 18.00 mg/kg、速效钾 45.32 mg/kg、

缓效钾 298.54 mg/kg、pH 5.43。

供试肥料包括硝酸磷铵(含 N 30%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 6%)，过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%)，硫酸钾(含 K<sub>2</sub>O 50%)。

### 1.2 试验设计

采用裂区试验设计，其中主区为钾肥处理，副区为烟草基因型，副区面积为 3 m<sup>2</sup>，重复三次，随机排列。试验设置 2 个施钾水平为 K<sub>2</sub>O 150 kg/hm<sup>2</sup> (LK) 与 300 kg/hm<sup>2</sup> (NK)，所有小区氮、磷肥施用量均为 N 90 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 105 kg/hm<sup>2</sup>。全部磷肥与 40% 的氮、钾肥作为基肥施入，余下肥料在移栽后 15 天和 30 天分别追施 10% 和 50%。采用漂盘法育苗，待烟苗长至六叶一心时期选择长势一致的 5 株无病烟苗移栽至各副区，行株距为 1.2 m × 0.5 m。高垄单行栽培，试验田四周设保护行。烟株开花后进行打顶，日常管理遵循当地优质规范栽培管理措施。

### 1.3 样品采集与制备

每副区随机选择无病烟株 3 株，取其混合样为一次重复，重复 3 次。于各部位烟叶成熟期分次采收下、中、上部叶，统一于 105℃ 下杀青 30 min，75℃ 下烘干至恒重，粉碎过筛待测。

### 1.4 测定项目及方法

土壤基本理化性质测定参照《土壤农化分析》<sup>[14]</sup>进行。烟叶钾素含量测定采用 CH<sub>3</sub>COOH 浸提—AA<sub>3</sub> 全自动流动分析仪同时连接 410 型火焰光度计进行<sup>[15]</sup>。

### 1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2013、DPS 9.0 和 SPSS 19.0 进行统计分析，Microsoft Excel 2013 与 Origin 8.1 进行图表制作。

## 2 结果与分析

### 2.1 烟叶含钾量的分布

2.1.1 施钾水平对不同部位烟叶含钾量的影响 93 份

烟草各部位烟叶含钾量的统计分析(表 1)显示, 不同品种烟叶含钾量差异显著。常规钾水平下, 2014 年和 2015 年烟叶含钾量在上部叶为 1.30%~3.62% ( $CV=20.34\%$ ) 和 0.19%~2.48% ( $CV=36.16\%$ ), 中部叶为 1.37%~3.73% ( $CV=17.31\%$ ) 和 0.69%~3.30% ( $CV=28.66\%$ ), 下部叶为 2.13%~4.65% ( $CV=14.63\%$ ) 和 0.75%~6.14% ( $CV=33.78\%$ ); 低钾水平下, 烟叶含钾量在上部叶为 0.88%~2.80% ( $CV=20.18\%$ ) 和 0.31%~1.77% ( $CV=27.18\%$ ), 中部叶为 1.24%~2.88% ( $CV=15.81\%$ ) 和 0.69%~3.30% ( $CV=28.66\%$ ), 下部叶为 1.69%~4.95% ( $CV=20.34\%$ ) 和

0.44%~3.68% ( $CV=27.70\%$ )。常规钾水平下的上、中、下位烟叶含钾量均值分别是低钾水平下的 1.10~1.13、1.14~1.25、1.15~1.35 倍。在两种钾水平下, 烟草烟叶位置越高, 含钾量越低, 但其变异系数则相反。烟草基因型间烟叶含钾量的变异系数愈大, 表明基因型间的差异愈明显。

对于多数品种而言, 现有方法增施钾肥的效果并不明显。2015 年两种钾水平下烟叶含钾量均低于 2014 年, 这可能是两年试验的供试土壤及气候条件不同造成的差异。

表 1 2014 年和 2015 年烟草基因型烟叶含钾量 (%) 的统计分析

Table 1 Statistical analysis of the K contents in tobacco leaves among genotypes in 2014 and 2015

处理 Treatment	叶位 Leaf position	2014					2015				
		最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	$CV$ (%)	$F$ 值 $F$ value	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	$CV$ (%)	$F$ 值 $F$ value
低钾(LK) Reduced K rate	上部 Upper	0.88	2.80	1.80	20.18	2.42**	0.31	1.77	0.94	27.18	4.35**
	中部 Middle	1.24	2.88	2.19	15.81	7.43**	0.37	3.09	1.16	32.92	5.98**
	下部 Lower	1.69	4.95	2.74	20.34	11.68**	0.44	3.68	1.86	27.70	5.78**
常规钾(NK) Normal K rate	上部 Upper	1.30	3.62	2.03	20.34	27.83**	0.19	2.48	1.03	36.16	13.64**
	中部 Middle	1.37	3.73	2.49	17.31	5.68**	0.69	3.30	1.45	28.66	9.48**
	下部 Lower	2.13	4.65	3.14	14.63	16.18**	0.75	6.14	2.52	33.78	14.85**

注 (Note): LK —  $K_2O$  150 kg/hm<sup>2</sup>; Normal K rate —  $K_2O$  rate 300 kg/hm<sup>2</sup>; \* —  $P < 0.05$ ; \*\* —  $P < 0.01$ .

2.1.2 烟叶含钾量的分布特征 根据 93 份烟草基因型的烟叶含钾量分布情况(图 1), 以平均含钾量将其划分为四种类型, 供试烟草品种表现为分布于 II 区的烟草基因型数量较多, 即在常规钾和低钾水平下均表现为高含钾量的基因型数量较为丰富。两年试验中, 2015 年上部烟叶含钾量分布较 2014 年相对集中, 即含钾量差异相对较小, 但其中下部叶含钾量分布较为分散, 供试烟草材料含钾量在中下部叶间的差异更为明显。

## 2.2 高钾基因型烟草的筛选

根据遗传育种研究需要, 将烟草钾营养基因型划分为 3 类: I 类为高钾型, II 类为普通型, III 类为低钾型<sup>[8-9, 13]</sup>。本研究以整株烟叶平均含钾量为评价指标, 采用离差平方和法对 93 份供试烟草基因型进行聚类分析(图 2)。在 2014 年, 分别在类间距为 16.92 与 16.02 时将 93 份烟草基因型划分为 I、II、III 类。对于 2015 年的试验结果, 则分别在类间距为 7.24 与 5.60 时将其划分为五类, 其中前两类划归于

I 类, 后两类划归于 III 类, 中间一类则划归为 II 类。综合两年大田试验表现, 将在两种钾水平下其烟叶含钾量表现一致的烟草基因型划归于三类钾营养基因型(表 2), I 类包括嘎吉红大、长叶红大、达白 1 号、达白 2 号、MFZS、930032-7; II 类包括贵烟 1 号、贵烟 5 号、K326、MSK326; III 类仅包含 MSLS-6 (神八) 一个基因型。从不同钾营养基因型的含钾量幅度(表 2)来看, I 类六个高钾基因型烟草在 2014 年表现为在两种钾水平下含钾量均高于 2.50%, 达到了富钾烟草标准, 但在 2015 年其含钾量仅达到了高钾基因型标准。故这六个基因型烟草在不同土壤条件和不同施钾水平下表现较为稳定, 属于高钾基因型烟草, 而其能否在生产中达到富钾烟草标准, 由土壤性质、气候条件与生产措施所共同决定。

## 2.3 不同钾营养基因型烟草烟叶含钾量的差异

对鉴定筛选出的三类钾营养基因型烟草的烟叶含钾量进行统计分析(表 3)发现, 在两年的试验中, 不论施钾水平高低, 高钾型烟草各部位烟叶含

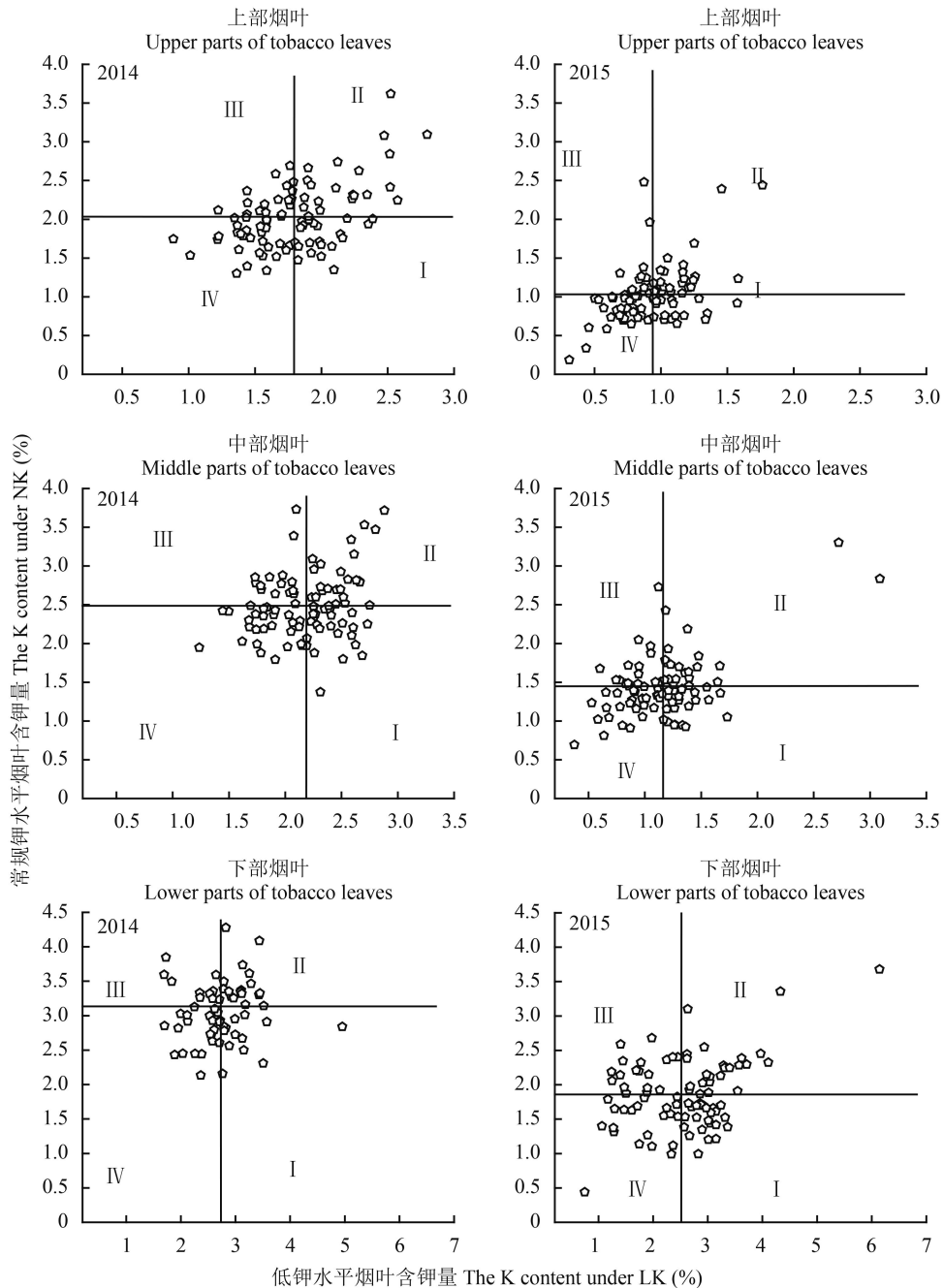


图 1 常规和低钾水平下烟草不同部位烟叶含钾量的分布

Fig. 1 Distribution of the K contents in different parts of leaves among cultivars

[注 (Note) : LK —  $K_2O$  150 kg/  $hm^2$ ; NK —  $K_2O$  300 kg/  $hm^2$ .]

钾量均显著高于普通型及低钾型。常规钾水平下，2014 年与 2015 年高钾基因型的烟叶含钾量可达普通型的 1.27 倍和 2.30 倍，低钾基因型的 1.31 倍和 1.92 倍；低钾水平下，高钾基因型的烟叶含钾量分别是普通型的 1.10 倍与 1.46 倍，低钾基因型的 1.72 倍和 2.24 倍，说明高钾型烟草上、中、下部的烟叶含钾量均显著高于普通型和低钾型。普通型上部叶的含钾量与低钾型之间无显著差异，中、下部烟叶含钾

量普通型显著高于低钾型。

#### 2.4 烟草基因型对钾的响应能力分析

烟叶含钾量方差分析表明，不同品种、不同施钾量、不同土壤条件下的烟叶含钾量不同 (表 4)。在众多基因型中寻找在常规钾水平，甚至在低钾水平下烟叶含钾量高，且随施钾量的增加其提升潜力大的基因型可以作为育种的首选品种。

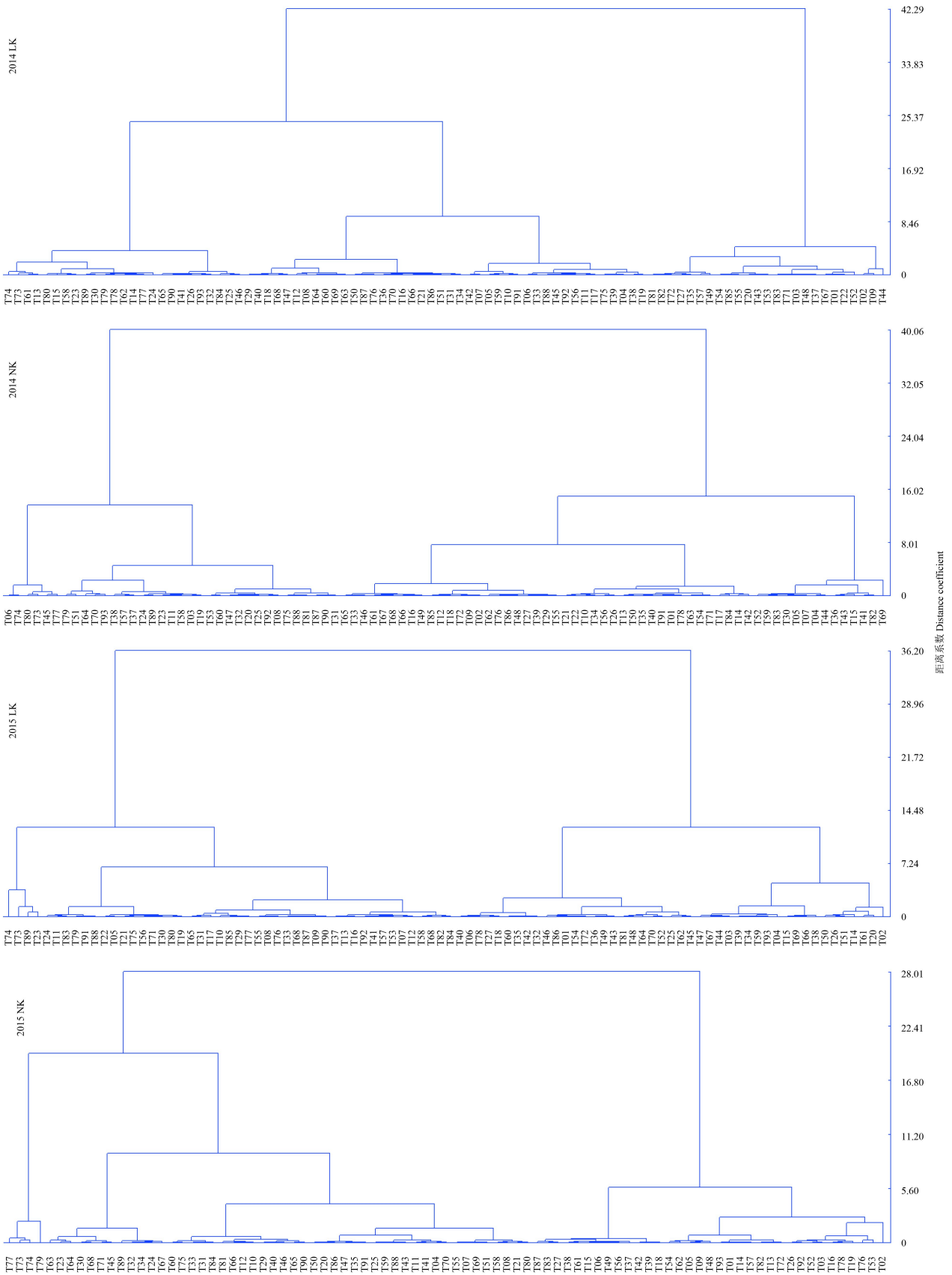


图 2 不同基因型烟叶含钾量的系统聚类图

Fig. 2 System cluster chart of the K contents in tobacco leaves among genotypes

[注 (Note) : LK — K<sub>2</sub>O 150 kg/hm<sup>2</sup>; NK — K<sub>2</sub>O 300 kg/hm<sup>2</sup>.]

表 2 2014 年和 2015 年不同施钾量下烟叶含钾量 (%)

Table 2 The K contents in tobacco leaves under different K application rates in 2014 and 2015

聚类类别 Category	钾基因型 K genotype	序号 Code	品种 Cultivar	烟叶含钾量 K content of tobacco leave			
				低钾 Low K rate (LK)		常规钾 High K rate (NK)	
				2014	2015	2014	2015
I	高钾 High-K	T23	嘎吉红大 Gajihongda	2.66	1.81	2.80	2.33
		T24	长叶红大 Changyehongda	2.56	1.63	2.83	2.05
		T73	达白 1 号 Dabai 1	2.80	2.90	3.47	2.96
		T74	达白 2 号 Dabai 2	2.88	2.82	3.72	3.87
		T79	MFZS	2.61	2.30	3.15	2.00
		T89	930032-7	2.63	1.67	2.82	2.60
II	普通 Normal	T10	贵烟 1 号 Guiyan 1	2.13	1.50	2.29	1.81
		T12	贵烟 5 号 Guiyan 5	2.35	1.51	2.44	1.66
		T29	K326	2.41	1.49	2.36	1.79
		T33	MSK326	2.09	1.53	2.51	1.73
III	低钾 Low-K	T52	(神八) MSLS-6 MSLS-6 (shenzhou 8)	1.62	1.00	2.03	1.32

注 (Note): LK — K<sub>2</sub>O 150 kg/hm<sup>2</sup>; NK — K<sub>2</sub>O 300 kg/hm<sup>2</sup>.

表 3 2014 和 2015 年不同基因型烟草不同位置烟叶含钾量 (%) 的差异

Table 3 The K contents of tobacco genotypes under the low and normal K application rates in 2014 and 2015

基因型 Genotype	钾水平 K rate	2014			2015		
		上部叶 Upper leaves	中部叶 Middle leaves	下部叶 Lower leaves	上部叶 Upper leaves	中部叶 Middle leaves	下部叶 Lower leaves
高钾 High-K	LK	2.29 ± 0.36 a	2.69 ± 0.12 a	2.94 ± 0.35 a	1.29 ± 0.38 a	1.79 ± 0.88 a	3.63 ± 0.74 a
	NK	2.88 ± 0.47 a	3.13 ± 0.39 a	3.72 ± 0.43 a	1.59 ± 0.65 a	2.37 ± 0.60 a	4.23 ± 0.37 a
普通 Normal	LK	1.81 ± 0.41 b	2.25 ± 0.16 b	2.68 ± 0.10 b	1.05 ± 0.15 b	1.23 ± 0.05 b	2.07 ± 0.29 b
	NK	2.00 ± 0.29 b	2.40 ± 0.10 b	3.02 ± 0.39 b	1.13 ± 0.09 b	1.54 ± 0.16 b	3.19 ± 0.43 b
低钾 Low-K	LK	1.64 ± 0.32 b	1.49 ± 0.18 c	1.79 ± 0.13 c	0.67 ± 0.01 b	0.80 ± 0.28 c	1.54 ± 0.14 c
	NK	1.92 ± 0.04 b	1.87 ± 0.21 c	2.59 ± 0.37 b	0.83 ± 0.09 b	0.94 ± 0.09 c	2.45 ± 0.04 b

注 (Note): LK—K<sub>2</sub>O 150kg/hm<sup>2</sup>; NK—K<sub>2</sub>O 300 kg/hm<sup>2</sup>. 同列数据后不同小写字母表示同一钾水平不同基因型间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significantly different among genotypes under the same K application at the 5% level.

### 3 讨论

烟叶含钾量影响烟叶的燃烧性、香气味及烟叶制品安全性等多个品质性状<sup>[2,5]</sup>, 是烟叶品质的重要指标。烟叶含钾量受多方面因素共同影响, 结合试验设计, 本研究中影响烟叶含钾量的主要因素包括基因型、土壤特性及气候条件<sup>[5,7,16-18]</sup>。本研究以烟叶含钾量为具体指标, 综合 93 份烟草种质资源在不同钾水平下的表现, 筛选得到了嘎吉红大、长叶红大、达白 1 号、达白 2 号、MFZS、930032-7 等六个稳定的高钾基因型烟草。这些筛选出的材料在不同

的供钾水平下均表现出高含钾量的特征, 说明其亲本也可能具有高含钾量特性, 或是经过杂交后在含钾量方面表现出明显的超亲优势。通过对材料来源及遗传背景进行调查分析发现, 嘎吉红大与长叶红大均来源于红花大金元变异株选育, 遗传背景相似; 同时, 达白 1 号源于 MSKY14 与达所 26 杂交, 达白 2 号则由 MSVa509 与达所 26 杂交所获, 其具有同一亲本, 表现出了同样的高含钾量趋势。对于另两个高钾基因型品种 (系), 通过种质资源库信息查证, 无法追溯到其亲本来源, 其遗传背景相关信息已经缺失。

表 4 不同品种、不同施钾量、不同试验点的含钾量 (%) 方差分析

Table 4 ANOVA of the K contents (%) under different cultivars, K application rate and trial location

变异来源 Source of variation	平方和 Sum of square	自由度 df	均方 Mean square	F 值 F-value	显著水平 Significance
试验点 Trial location (T)	207.244	1	207.244	15461.728	**
钾水平 K rate (K)	6.672	1	6.672	497.742	**
品种 Cultivar (C)	65.464	92	0.719	53.671	**
试验点 × 施钾量 T × K	1.060	1	1.060	079.061	**
试验点 × 品种 T × C	25.136	92	0.276	20.608	**
施钾量 × 品种 K × C	16.391	92	0.180	13.438	**
试验点 × 施钾量 × 品种 T × K × C	15.896	92	0.179	13.326	**
误差 Error	8.592	641	0.013		
总和 Sum	2608.429	1007			

注 (Note): \*\*— $P < 0.01$ .

### 3.1 烟叶含钾量的基因型差异

烟草不同基因型间的含钾量存在显著差异<sup>[17]</sup>, 其遗传力较高<sup>[19]</sup>。基因型对烟叶含钾量的影响远大于施钾量, 尤其在以烟叶高含钾量为目标时更甚<sup>[9]</sup>, 且含钾量越高, 基因型数量越少<sup>[20]</sup>。王艺霖等<sup>[8]</sup>曾采集研究了 74 份烤烟品种, 但由于亲缘关系较近, 其含钾量变异系数最高仅达 0.14%, 苏贤坤等<sup>[13]</sup>采集了 10 个不同基因型烤烟在不同培养环境含钾量, 其不同钾水平下的变异系数介于 7.99%~19.60% 间, 并在不同施钾水平下以含钾量为指标筛选得到了多个高(富)钾烟草基因型。本研究采集了 93 份烟草材料, 经试验分析统计, 基因型间烟叶含钾量存在极显著差异, 变异系数高达 36%, 最大值与最小值相差可达 8 倍以上, 有利于筛选高钾基因型品种。在两种钾水平下筛选出的六个高钾基因型表现稳定, 对于高钾新品系育种工作及大田生产具有一定的现实意义。

### 3.2 土壤特性对含钾量的影响

烟株含钾量与土壤钾素含量密切相关<sup>[21-22]</sup>, 颜丽等<sup>[23]</sup>指出, 烟叶含钾量与土壤缓效钾、速效钾和钾饱和度呈极显著正相关关系, 而王程栋等<sup>[24]</sup>与陈伟等<sup>[25]</sup>认为, 烟叶含钾量随土壤速效钾含量的增加而上升, 故目前应以速效钾<sup>[26-27]</sup>或有效钾<sup>[28]</sup>含量作为施肥判断指标尚存在较大争议。对植物而言, 速效钾与缓效钾均为土壤钾中可被吸收利用的部分, 其区别在于被植物吸收的优先度与速率不同。速效钾包括水溶性钾与交换性钾, 被认为与植物吸钾量有良好相关性, 常采用 1 mol/L 醋酸铵浸提, 缓效钾用 1 mol/L 硝酸煮沸浸提, 有效钾则共同包括了二者<sup>[14]</sup>。

两年试验中, 由于 2014 年供试土壤的速效钾及缓效钾含量均高于 2015 年, 故在相同施钾处理下, 2014 年试验中的烟叶含钾量更高, 这与郭清源等<sup>[28]</sup>的研究结果一致。2014 年, 高钾、普通及低钾基因型烟草在常规钾水平下的含钾量较低钾水平分别提高了 16.42%、6.90% 及 25.31%, 而在次年中的提高幅度分别为 20.41%、15.92% 及 32.00% (表 3), 说明在土壤有效钾含量较低时增施钾肥对烟叶含钾量的提升效果更为显著。

### 3.3 气候条件与含钾量的关系

在栽培措施基本一致的前提下, 土壤—气候条件对于烟叶含钾量具有高度影响效应<sup>[29]</sup>。烟草生长需水特点是前期少, 中期多, 后期更少<sup>[30]</sup>。在大田旺长期, 烟草需水较多, 占总量的 1/2, 在成熟期, 雨量少则有利于烟叶的适时落黄成熟<sup>[29, 31]</sup>。因此, 气候条件亦是烟草含钾量的重要影响因素之一。降水分布与烟草需水特性越接近, 则在该气候条件下烟叶的含钾量就可能更高<sup>[5]</sup>。本研究中, 2014 年试验地点位于西昌市中坝乡, 当季降雨规律与烟草需水规律较为一致。降雨集中于五月下旬至七月上旬, 利于烟株快速生长, 自七月中旬后大幅减少, 对烟叶落黄极为有利。而 2015 年试验地点位于西昌市大兴乡, 此地海拔较高, 在烟草生育前期和中期, 降雨较少, 在生育中后期降雨多且集中, 烟叶进入成熟期后有部分返青现象。这也是造成 2015 年试验结果低于 2014 年的重要原因之一。

连续两年的大田试验均采用相同的施肥量与方式, 同一基因型烟叶含钾量在两年的试验中表现出较大差异, 与两试验点间的土壤状况及气候条件差

异高度相关,但其变化趋势表现一致。2014 年与 2015 年分别筛选出 13 个与 8 个高钾基因型烟草,综合两年筛选结果最终得到了 6 个稳定表现的高钾基因型(表 2),可有力证实试验点间的土壤气候生态条件差异对高钾基因型烟草筛选无不良影响。

## 4 结论

供试 93 份烟草种质资源的烟叶含钾量在基因型间呈现显著差异。综合两年大田试验结果,从中筛选得到嘎吉红大、长叶红大、达白 1 号、达白 2 号、MFZS、930032-7 等六个基因型,其在不同钾水平下均具有稳定的高含钾量表现,对实际生产具有一定的应用价值,亦可为高钾烟草品种选育工作的亲本选配提供优良的后备资源。

不同基因型烟草的含钾量在不同施钾水平下差异显著。常规钾水平下的烟叶含钾量高于低钾水平,施钾会对烟叶含钾量产生一定影响,但其效应远低于基因型自身差异。以含钾量为指标进行的聚类分析结果显示,不同钾营养类型间烟叶含钾量差异显著,其差异主要来源于中、下部烟叶。

## 参考文献:

- [1] 武维华. 植物响应低钾胁迫及钾营养高效的分子调控网络机制研究[J]. 中国基础科学, 2007, 9(2): 18-23.  
WU W H. Molecular regulate networks of protein Kinase CIPK23 regulates K<sup>+</sup> transporter AKT1 [J]. China Basic Science, 2007, 9(2):18-23.
- [2] Kellermeier F, Chardon F, Amtmann A. Natural variation of Arabidopsis root architecture reveals complementing adaptive strategies to potassium starvation [J]. Plant Physiology, 2013, 161(3): 1421-1432.
- [3] 杨铁钊, 彭玉富. 富钾基因型烤烟钾积累特征研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 750-753.  
Yang T Z, Peng Y F. Potassium accumulation characteristics of rich-potassium genotypic flue-cured tobacco [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(5): 750-753.
- [4] 宋毓峰, 董连红, 靳义荣, 等. 林烟草 KUP/HAK/KT 钾转运体基因 NsHAK11 的亚细胞定位与表达[J]. 中国农业科学, 2014, 47(6): 1058-1071.  
Song Y F, Dong L H, Jin Y R, *et al.* Subcellular localization and expression analysis of Nicotiana glauca KUP/HAK/KT family K<sup>+</sup> transporter gene NsHAK11 [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(6): 1058-1071.
- [5] 张娟, 张喜琦, 许士明, 等. 我国烟草钾素营养的研究现状及探讨[J]. 山东农业科学, 2009, (8): 79-82.  
Zhang J, Zhang X Q, Xu S M, *et al.* Current research situation of potassium nutrition of tobacco in China [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2009, (8): 79-82.
- [6] 李江舟, 姜翼来, 张立猛, 等. 不同生物炭添加量下植烟土壤养分的淋失[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(4): 1075-1080.  
Li J Z, Lou Y L, Zhang L M, *et al.* Leaching loss of nutrients in tobacco-planting soil under different biochar adding levels [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2015, 21(4): 1075-1080.
- [7] 杨铁钊, 舒海燕, 赵献章. 我国烟草钾素营养研究现状与进展[J]. 烟草科技, 2002, (7): 39-43.  
Yang T Z, Shu H Y, Zhao X Z. Recent advances in tobacco potassium nutrition in China [J]. Tobacco Science & Technology, 2002, (7): 39-43.
- [8] 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 Y L, Zhao L W, Xiao B G, *et al.* Nutritional characteristics of potassium in flue-cured tobacco with different genotypes[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Science, 2012, 28(3): 472-476.
- [9] 黄莺, 周梅, 黄河, 徐伟. 基因型对烟草钾素营养的响应能力及筛选研究[J]. 中国烟草科学, 2004, 25(2): 30-34.  
Huang Y, Zhou M, Huang H, Xu W. Study of genotype on response ability of tobacco potassium nutrition and selection [J]. Chinese Tobacco Science, 2004, 25(2): 30-34.
- [10] 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 P L, Shi Y, Liu H B, *et al.* Studies on potassium efficiency difference among tobacco genotypes [J]. Tobacco Science&Technology, 1996, (1): 33-35.
- [11] 刘文祥, 颜合洪, 周益, 等. 烟草钾素营养与提高烤烟烟叶含钾量的研究进展[J]. 作物研究, 2007, 21(S1): 736-740.  
Liu W X, Yan H H, Zhou Y, *et al.* Recent advances in tobacco potassium nutrition and improving potassium content of flue-cured tobacco [J]. Crop Research, 2007, 21(S1): 736-740.
- [12] 李静, 张锡洲, 李廷轩, 等. 钾肥运筹对烤烟钾吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(4): 969-978.  
Li J, Zhang X Z, Li T X, *et al.* Effect of potash management on potassium absorption and utilization of flue-cured tobacco [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2015, 21(4): 969-978.
- [13] 苏贤坤, 张晓海, 汪自强. 烤烟钾素营养特性的基因型差异研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 536-540.  
Su X K, Zhang X H, Wang Z Q. The genotypic difference of potassium nutrition of flue-cured tobacco [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(4): 536-540.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.  
Bao S D. Soil and agro-chemical analysis methods [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [15] 贝美容, 罗雪华, 杨红竹. AA3 型连续流动分析仪-CFA-同时测定橡胶叶全氮、全磷、全钾的方法研究[J]. 热带作物学报, 2011, 32(7): 1258-1264.  
Bei M R, Luo X H, Yang H Z. Simultaneous determination of nitrogen, phosphorus and potassium in rubber leaf samples by AA3 continuous flow analyzer (CFA) [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2011, 32(7): 1258-1264.
- [16] 谢佳贵, 侯云鹏, 尹彩侠, 等. 施钾和秸秆还田对春玉米产量、养分吸收及土壤钾素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5): 1110-1118.  
Xie J G, Hou Y P, Yin C X, *et al.* Effect of potassium application and



- straw returning on spring maize yield, nutrient absorption and soil potassium balance [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20(5): 1110–1118.
- [17] 陈义强, 刘国顺, 习红昂. 烟草栽培中氮、磷、钾肥及水分因子与产值的经验模型[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(2): 480–487.  
Chen Y Q, Liu G S, Xi H A. Empirical model of the relation of output value to nitrogen, phosphorus, potassium and water during tobacco cultivation [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(2): 480–487.
- [18] 陈义强, 刘国顺, 习红昂. 基于烟叶品质指数的氮磷钾施肥模型[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(3): 632–643.  
Chen Y Q, Liu G S, Xi H A. NPK fertilization model based on tobacco leaf quality index [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2013, 19(3): 632–643.
- [19] 舒海燕, 常胜合, 杨铁钊. 烟株打顶对钾素含量的影响[J]. *河南农业科学*, 2005, (1): 25–26.  
Shu H Y, Chang S H, Yang T Z. Effect of cutting terminal buds on K content of tobacco plant [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2005, (1): 25–26.
- [20] 徐文军, 胡日生, 郭清泉, 等. 烟草钾营养的基因型差异及烤烟育种中应用研究. I. 烟叶钾含量的基因型差异[J]. *作物研究*, 2006, 20(1): 68–70.  
Xu W J, Hu R S, Guo Q Q, *et al.* Studies on genotype variation of potassium in tobacco and their application in the breeding of flue-cured tobacco [J]. *Crop Research*, 2006, 20(1): 68–70.
- [21] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.  
Liu G S. Tobacco cultivation [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003.
- [22] Velde B. Impact of long-term alfalfa cropping on soil potassium content and clay minerals in a semi-arid loess soil in China[J]. *Pedosphere*, 2011, 21(4): 13–19.
- [23] 颜丽, 关连珠, 栾双, 等. 土壤供钾状况及土壤湿度对我国北方烤烟烟叶含钾量的影响研究[J]. *土壤通报*, 2001, 32(2): 84–87.  
Yan L, Guan L Z, Luan S, *et al.* Potassium content in tobacco leaves related to soil potassium supply and soil moisture regimes [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2001, 32(2): 84–87.
- [24] 王程栋, 王树声, 刘新民, 等. 曲靖烟区土壤化学性状及海拔对烟叶钾含量的影响[J]. *中国烟草科学*, 2013, 34(4): 25–29.  
Wang C D, Wang S S, Liu X M, *et al.* Effects of soil chemical properties and altitude on K content in flue-cured tobacco leaves in Qujing area [J]. *Chinese Tobacco Science*, 2013, 34(4): 25–29.
- [25] 陈伟, 陈懿, 黄磊, 等. 土壤与气候对烤后烟叶烟碱和钾含量的影响[J]. *土壤*, 2013, 45(4): 713–717.  
Chen W, Chen Y, Huang L, *et al.* Effects of soil and climate on nicotine and potassium content of cured tobacco leaves [J]. *Soils*, 2013, 45(4): 713–717.
- [26] 陈防, 鲁剑巍. 长期施钾对作物增产及土壤钾素含量及形态的影响[J]. *土壤学报*, 2000, 37(2): 233–241.  
Chen F, Lu J W. Effect of long term potassium application on soil potassium content and forms [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37(2): 233–241.
- [27] Hosseinpour A R, Motaghian H R. Application of kinetic models in describing soil potassium release characteristics and their correlations with potassium extracted by chemical methods [J]. *Pedosphere*, 2013, 23(4): 482–492.
- [28] 郭清源, 丁松爽, 刘国顺, 等. 钾用量与灌溉量对不同土层钾素及烟叶钾含量的积累效应[J]. *中国烟草科学*, 2015, 36(1): 61–67.  
Guo Q Y, Ding S S, Liu G S, *et al.* Effect of potassium rate and irrigation frequency on potassium contents of different soil layers and tobacco leaves [J]. *Chinese Tobacco Science*, 2015, 36(1): 61–67.
- [29] 黄爱纓, 木志坚, 蒋珍茂, 等. 土壤气候和烟草品种及其互作对云南昭通烟叶化学品质的影响[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2014, 36(10):55–63.  
Huang A Y, Mu Z J, Jiang Z M, *et al.* Effect of soil and climate conditions, tobacco varieties and their interactions on the chemical qualities of tobacco leaves in Zhaotong, Yunnan province [J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2014, 36(10):55–63.
- [30] Campbell R B. Flue-cured tobacco yield and oxygen content of soil in lysimeters flooded for various periods [J]. *Agronomy Journal*, 1973, 65(5): 783–786.
- [31] 言勇, 颜合洪. 气候因子对烟草品质影响的研究进展[J]. *作物研究*, 2009, 23(5): 339–344.  
Yan Y, Yan H H. The research progress in the effect of climate factor on tobacco quality[J]. *Crop Research*, 2009, 23(5): 339–344.