植物营养与肥料学报 2006,12(5):750－753
Plant Nutrition and Fertilizer Science

富钾基因型烤烟钾积累特征研究

杨铁钊，彭玉富
（河南农业大学农学院，河南郑州 450002）

Potassium accumulation characteristics of rich-potassium genotypic flue-cured tobacco

YANG Tie-zhao, PENG Yu-fu
(*Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China*)

中图分类号：S572.01　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-505X(2006)05-0750-04

烟叶含钾量是烤烟品质优劣的一个重要指标，它与烟叶成熟度、烟叶香吃味及卷烟制品安全性密切相关[1-2]。国际市场上衡量优质烟叶的指标之一是烟叶的钾含量2%以上，而我国烟叶含钾量多低于2%，尤其是北方烟区，烟叶钾含量在1.5%左右，严重影响烟叶质量的提高。我国长江以北地区土壤的速效钾含量较高，且土壤中的全钾丰富，具有很大的供钾潜力[3]。但由于我国北方土壤多为石灰性土壤，pH和含钙量较高，加之土壤颗粒结构特点和干湿交替频繁，造成土壤钾的有效性降低，肥料钾也容易被土壤固定，影响了烟草对钾素的吸收积累，出现“富钾土壤贫钾烟”现象。为此，选育富钾品种对减少钾肥用量、提高烟叶质量具有重要意义。

在植物钾素营养的研究中，国内外主要集中在耐低钾植物的生理特征及遗传改良方面，而对富钾植物的研究较少，至今没有一套研究筛选的指标体系，借用耐低钾筛选的方法往往得不到有效的结果。因此，加强富钾作物培育的基础研究十分重要。崔国贤[3]报道，植物的钾吸收速率以不耐低钾的品种较高；李廷轩等[4]采用植株含钾量、单株吸钾量和吸钾速率等综合指标体系作为籽粒苋富钾基因型筛选的依据，同时还考虑了部分根系生理特性的变化，获得了具有不同富钾能力的籽粒苋材料。本研究以烟草为材料，研究富钾烟草钾素积累的一些生理特征，以期为富钾烟草的选育提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试材料为农大202(ND202)，系以烟叶钾含量为指标选出的一个高钾品系，经过连续近10年的定向选择，遗传上已经基本稳定。对照为烤烟品种NC89。试验于2002年在河南省登封市采用袋植技术种植，即：用尼龙网(孔径为0.125mm)制成直径45cm、高40cm的袋子，将供试土壤充分拌匀，过筛后按一定量装袋，然后埋入地下，一袋一株。顺序排列，重复4次，每小区面积50m^2，共200m^2。土壤类型为石灰性褐土，pH值为7.8，有机质含量为20.9 g/kg，速效氮含量为81.1 mg/kg，速效磷15.04 mg/kg，速效钾为119.7 mg/kg。试验施氮肥量为N 45 kg/hm^2，氮、磷、钾比例按 $N:P_2O_5:K_2O=1:2:3$。田间按优质烟生产技术规范管理。

1.2 调查测定项目与方法

在烟苗移栽后20d第一次取样，以后每10d取一次样，分别在移栽后20至110d取样10次。整株取样，每个材料每次取16株，每株按根、茎、叶及不同叶位分开，4株为一个混合样，4次重复。各混合样分别挂牌标记品种(系)及取样日期，分开洗净后于105℃下杀青15min，70～80℃下烘干，粉碎后过0.25mm筛，供分析用。烟株根系和叶片钾含量(%)均用0.1mol/L盐酸浸提—火焰光度法测定。

收稿日期：2005-09-06　　**修改稿收到日期**：2005-11-15
基金项目：国家烟草专卖局科技攻关项目资助。
作者简介：杨铁钊(1955—)，男，河南临颍人，教授，主要从事烟草遗传育种研究。

各取样时期钾积累量为 4 次重复的平均值，并用统计软件 SPSS[5]进行钾积累曲线方程的拟合。

2 结果与分析

2.1 两个烤烟基因型钾效率的比较

表 1 看出，单株烟草绝对含钾量 ND202（8.2g）是 NC89（4.4g）的 1.86 倍；烟叶相对含钾量（2.55%）比 NC89（1.31%）高 96.15%。每株烟草干物质重 ND202 比 NC89 高 36.07%，每克钾生成的干物质重量 ND202 比 NC89 少 21.62%。可见，ND202 具有钾积累效率高和钾利用效率低的特点，属于钾积累高效、利用低效的基因型，而 NC89 属于钾积累低效、利用高效基因型。

表 1　ND202 和 NC89 的钾效率差异

Table 1　Differences between ND202 and NC89 in potassium efficiency

品种 Cultivar	钾积累效率 K accumulation efficiency		钾利用效率 K utilization efficiency	
	钾积累量 K accumulation (g /plant)	叶片钾含量 K content of leaf (%)	植株干重 Dry matter of plant (g/plant)	钾效率 K efficiency (DW g /g, K)
ND202	8.23 ± 0.53	2.55 ± 0.09	428.43 ± 26.50	52.03 ± 2.02
NC89	4.38 ± 0.29	1.31 ± 0.10	314.86 ± 28.31	71.89 ± 3.25

注(Note)：表中数据为 8 个重复平均值 Data in the table are average of 8 replications.

2.2 两个烤烟基因型钾积累曲线的比较

两基因型的钾积累曲线类似，随着移栽天数的增加，烟草体内钾积累量逐渐增多。但这种增多并非等比例进行，而是前期缓慢，随后迅速增加，后期又逐渐减缓，最后有稍微减少的趋势。可用指数方程拟合：

$$y = \exp(b_0 + b_1/t)$$

式中 y 为植株中钾积累量(g)，t 为移栽后天数(d)，b_0、b_1 为参数，由 SPSS 统计软件求得。两基因型积累曲线分别为 $Y_{ND202} = \exp(3.25 - 105.02/t$ 和 $Y_{NC89} = \exp(2.42 - 90.39/t)$。F 测验达到极显著水平，$F_{ND202} = 244.09$ 和 $F_{NC89} = 172.39 > F_{0.01} = 11.26$。

比较两基因型钾积累曲线(图 1)可以看出，

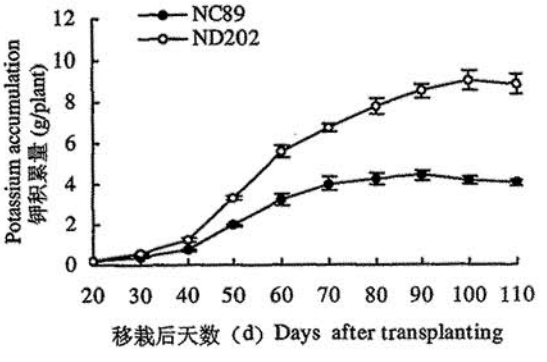

图 1　ND202 和 NC89 烤烟钾的积累曲线

Fig.1　K accumulative curves of ND202 and NC89

ND202 单株钾积累总量要大于同期 NC89 钾积累量。NC89 品种在移栽后 100d 单株钾积累总量(4.22g)小于移栽后 90d 时的钾积累总量(4.47g)，这说明 NC89 在移栽 100d 后开始出现钾负积累现象；而 ND202 出现钾负积累的时间较晚，为移栽后 110d。

2.3 两个烤烟基因型钾积累速率分析

对钾积累曲线方程 $y = \exp(b_0 + b_1/t)$ 求时间导数，可得出整株钾积累速率方程，$d(t) = -b_1/t^2 \exp(b_0 + b_1/t)$。

ND202 的钾积累速率方程：

$d(t) = 105.2/t^2 \exp(3.25-105.02/t)$

NC89 钾积累速率方程：

$d(t) = 90.39/t^2 \exp(2.42-90.39/t)$

两式中 d(t)为钾积累速率，t 为移栽后天数。其钾积累速率曲线图见图 2。

比较两基因型钾积累速率曲线可以看出，钾积累速率变化趋势相同，均为前期增长快，到移栽后 40～60d 钾积累速率达到最大值，而后逐渐缓慢减少。但二者在移栽后 20d 以前钾积累速率比较接近，而后 ND202 钾积累速率迅速提高，并始终大于同期 NC89 钾积累速率。

了解烟草最大钾积累速率对了解烟草体内钾积累动态及科学调控养分供应是十分必要的。用二阶求导数的方法可求得烟草最大钾积累速率，所求得二阶导数如下：

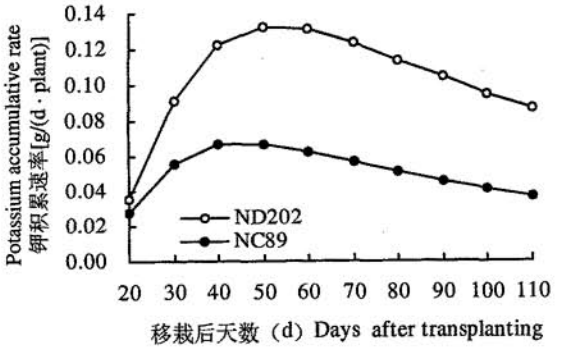

图 2 ND202 和 NC89 烤烟钾的积累速率曲线

Fig.2 K accumulation rate curves of ND202 and NC89

$$\frac{d^2(t)}{t^2}=\frac{2b_1}{t^3}\exp(b_0+\frac{b_1}{t})+\frac{b_1^2}{t^4}\exp(b_0+\frac{b_1}{t})$$

当二阶导数等于0(拐点处斜率为0)时，$t=-\frac{b_1}{2}$，即为最大钾积累速率出现的时间，将该时间代入钾积累速率方程，可求得最大钾积累速率。两基因型最大钾积累速率及其出现的时间见表2。

表 2 ND202 和 NC89 钾积累最大速率及其出现时间

Table 2 Differences between ND202 and NC89 in potassium accumulation max rate and date of the max rate

项目 Item	ND202	NC89
最大速率 Max rate (g/d)	0.133	0.067
最大速率日期 Date of max rate (d)	52.51	45.19

图2和表2可以看出，ND202最大钾积累速率是NC89最大钾积累速率的1.99倍，最大钾积累速率出现日期比NC89晚7.32d。

如果以钾积累速率 $v\geqslant\frac{4}{5}\upsilon_{max}$ 的时间为钾高速积累时间，由一阶导数方程、二阶方程和钾积累速率曲线图可求得两基因型的钾高速积累时间，其中ND202钾高速积累时间为移栽后33.88d到移栽后87.68d，共53.80d，NC89钾高速积累时间为移栽后29.17d到移栽后71.99d，共42.82d。说明ND202具有钾积累速率高和钾高速积累持续时间长的特点，有利于烟株体内钾素的大量积累。

2.4 钾高效基因型烤烟根系钾积累动态分析

不同时期根的干物质积累量及钾积累量(图3)看出，移栽后20～80d，NC89根系的钾积累与干物质积累同步增长；但移栽后90～110d，钾积累增长缓慢，最后出现负增长。ND202在整个生长时期(移栽后20～110d)根系的钾积累始终与根系干物质积累保持同步增长。

图3还看出，在各时期ND202的根系钾含量和干物质量均大于同期的NC89。许明祥等[6]研究发现，根系的含钾量不仅控制其吸收钾的量，而且可能调节烟株中钾的再分配方向。ND202根系量大、钾吸收积累量高、活性强(特别是生育后期)可能是其烟叶相对钾含量高和钾积累速率高的原因之一。

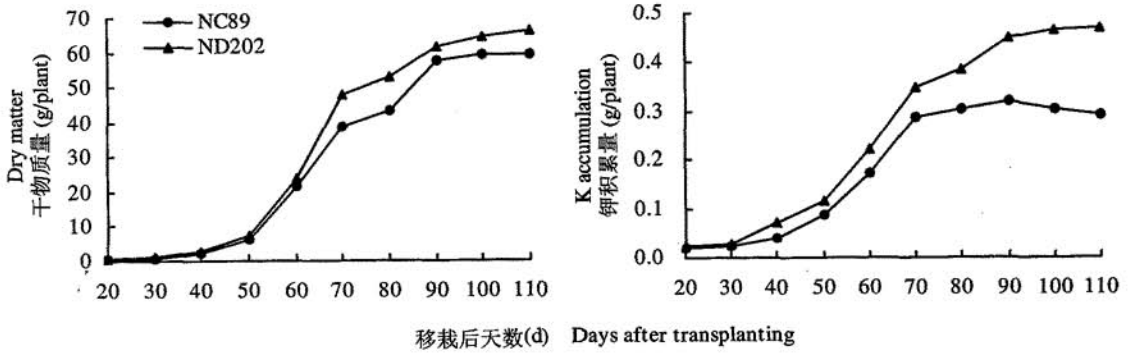

图 3 ND202 和 NC89 在不同生长时期根系干物质量和钾积累量

Fig.3 Dry matter and potassium accumulation of ND202 and NC89 roots at different growth stage

3 讨论

目前我国对耐低钾作物(如水稻、小麦等)品种的筛选研究报道较多，而对富钾植物的筛选及评价指标体系研究报道则很少。李廷轩等[4]认为用筛选耐钾植物的指标体系来筛选富钾植物基因型显然不妥。因此必须对富钾作物品种的富钾机理进行深入研究，以期指导富钾品种的选育。本研究采用两个烟草钾含量不同的基因型对钾积累特性进行分析发现，富钾烟草基因型具有两个重要特征，钾积累速率高和高积累速率持续时间较长。富钾烟草ND202钾积累最大速率是NC89品种钾积累最大速率的

1.97 倍。ND202 钾高速积累时间有 53.80d，在烟草生育后期，植株体内钾素负积累现象发生的时间较迟（移栽后 110d）。而 NC89 品种钾高速积累时间只有 42.82d，且在移栽 100d 后就开始出现钾负积累现象。因此，在富钾烟草品种的选育中或在提高烟叶钾含量的栽培中应特别注意提高烟株的钾积累速率。

对两个基因型的根系钾积累和干物质积累动态研究发现，烟草富钾基因型 ND202 根系量大、根钾积累量高、活性强（特别是生育后期），这可能是其烟叶相对钾含量高和钾积累速率高的原因之一。富钾基因型的钾积累速率高和高积累速率持续时间较长这一特性的生理学基础有待于进一步分析。

钾积累速率是一个动态指标，利用这个指标对富钾基因型进行筛选比较困难。从本研究（图 1、图 2）看出，两个烟草基因型在生育前期（移栽后 20～30d）钾积累速率差异并不大，因此利用苗期植株对钾积累速率进行分析往往得不到可靠的结果。随着烟株生育期推移，钾积累速率的差异明显，最大钾积累速率的差异发生在移栽后的 40～50d。此时正值烟株的最大生长期，在这个时期进行取样分析计算钾积累速率，能反映基因型间的差异。因此在该时期对不同基因型进行钾积累速率的评价和筛选是可行的。

参 考 文 献：

[1] 曹志洪，胡国松，周秀如，等．土壤供钾特性和烤烟的钾肥有效使用[J]．烟草科技，1993(2)：33-37.
Cao Z H, Hu G S, Zhou X R *et al*. Potassium supplying characteristics in different soils and potassium fertilizer effective applying in flue-cured tobacco[J]. Tobacco Sci. and Tech. 1993(2): 33-37.

[2] 汪邓民，范思锋．钾素对烤烟成熟生理变化及成熟度影响的研究[J]．植物营养与肥料学报，1999，5(3)：244-248.
Wang D M, Fan S F. Study on the effect of K nutrition on physiological change and maturity of flue-cured tobacco in the course of mature [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1999, 5(3): 244-248.

[3] 崔国贤，李宗道．植物钾营养基因型的差异及其机理研究进展[J]．作物研究，1997(1)：43-48.
Cui G X, Li Z D. Studies on the genotypic difference of potassium nutrition in plant[J]. Crop Research, 1997(1):43-48.

[4] 李廷轩，马国瑞．籽粒苋富钾基因型筛选研究[J]．植物营养与肥料学报，2003，9(4)：473-479.
Li T X, Ma G R, Screening grain amaeanths for genotypes of the capability of enrichment in potassium[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(4): 473-479.

[5] 苏金明，傅荣华，周建斌，张莲花．统计软件 SPSS for Windows 实用指南[M]．北京：电子工业出版社，2000.
Su J M, Fu R H, Zhou J B, Zhang L H. Instruction of statistics software SPSS for Windows[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2000.

[6] 许明祥，赵允格，赵伯善．石灰性土壤烤烟含钾量及其累积分布的研究[J]．西北农业大学学报，2000(2)：52-56.
Xu M X, Zhao Y G, Zhao B S. Study on heightening the potassium content of flue-cured tobacco in calcareous soil areas[J]. J. of Northwest China Agricultural University, 2000(2): 52-56.