

土壤钾和微量元素行为的调控 与烟叶品质的关系

I. 土壤—烟株系统钾素调控的理论分析

曹志洪 胡国松 周秀如 李仲林 张 新

(中国科学院南京土壤研究所)

王恩沛 赵振山 康 健

(中国烟草总公司烟叶生产购销公司)

摘 要

本文论述了钾素与烟叶的香气质、香气量及吃味的关系,分析了土壤—烤烟植株系统钾素营养的组成和功能;提出了改善烤烟钾素营养,提高烟叶钾含量的可能途径和措施。

众所周知,土壤—烤烟植株系统的钾素营养系由土壤钾、肥料钾和烟株钾三者组成的,前二者的功能是源;后者的功能是库。三者之间是通过土壤的固定(吸收)—分解(释放)和烟株的吸收—释放过程相连接的。所以,对土壤—烤烟植株系统钾素的调控有赖于对三者的合理调节及管理。对土壤钾而言,调控目标是加速其释放和有效化;减少、延缓乃至阻止施入土壤中钾的无效化、缓效化和流失。对肥料钾而言,调节任务在于选择最理想的钾肥形态,充分利用有机钾肥资源,采用科学施肥技术提高钾肥利用率。对烤烟植株钾而言,主要是使烤烟植株各部位的钾素向烟叶运转。对钾素吸收、转化过程的调控的手段包括营养的、生理的和基因的等方面。本文着重就钾素与烟叶的香气质、香气量及吃味的关系;土壤—烤烟植株系统钾素营养的构成与功能以及对它们的调控等问题进行理论上的阐述。

一、钾与烟叶的香气质、香气量及吃味的关系

同其他作物相比,烤烟在营养上的重要特点是对钾的需求量大^[1,2]。而含钾量高是优质烟叶的重要指标之一。因为钾可以使烤烟叶色呈深桔黄色,增强持火力和提高可燃率。

钾素参与烟株的碳氮代谢,影响烟株中蛋白质、淀粉和油脂的合成和各种代谢产物的输送^[3],从而影响烟叶中蛋白质、糖和脂类的含量、比例和分布,而这些成分都是同烟叶香气质和香气量紧密相关的组份。提高烟叶含钾量还可以降低烟叶燃点和燃烧温度,减少有害物质的挥发,提高吸烟者的安全性。

钾还可以增强烟株的抗逆性,从而减少了农药的用量及残留量,有益于吸烟者的健康。

综上所述,提高烟叶含钾量是优质烟叶生产者的重要任务。然而,我国烤烟含钾量一直低于国外烤烟^[4,5],国外烤烟含钾量一般在 15gkg^{-1} 以上,而北方许多烟区生产的烟叶含钾量甚至低于 10gkg^{-1} 。不仅如此,即使从国外引进的烤烟品种,其含钾量也低于国外同品种烤烟^[4]。可见,我国烟叶香气质差、香气量不足,含钾量低至少是原因之一。

二、土壤—烟株系统钾素营养的构成与功能

如前所述，土壤—烤烟植株系统钾素营养由土壤钾、肥料钾和烟株钾三者构成。土壤钾的功能是钾源，起供给作用；肥料钾的功能也是钾源，它起着补充土壤钾不足的功能；烟株钾是库，钾在烟株内呈离子态，起平衡渗透的作用，而且还是烟株体内某些酶的组份。源(土壤和肥料钾)和库(烟株钾)是通过烟株的根系和叶片的吸收与分泌释放作用而连接在一起(图1)。因此，对整个系统钾素的调控主要包括3个方面的内容：即对钾源的调控、对钾库的调控和对吸收过程的调控。

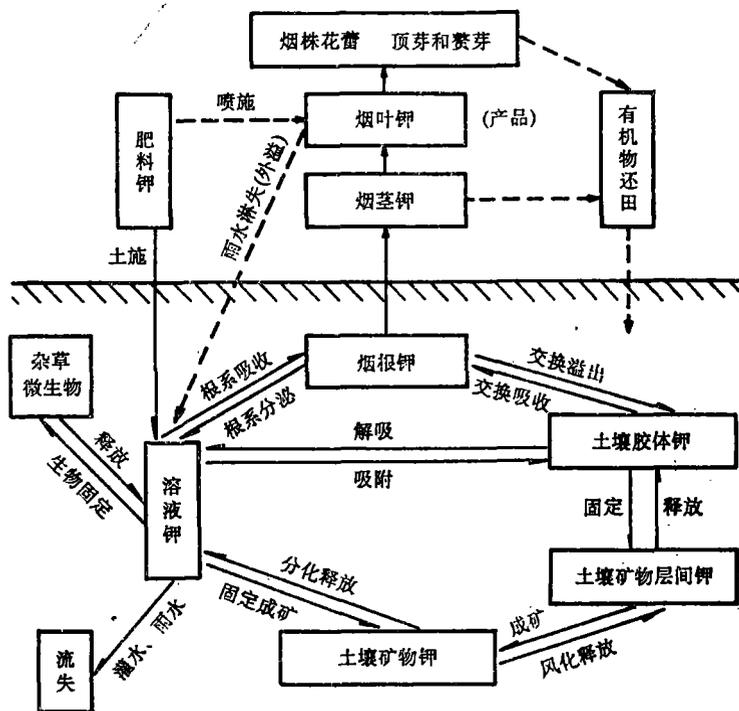


图1 土壤—烟株系统中的钾素

三、土壤中钾的行为和调控

土壤钾按其其对植物的有效吸收特性分为速效钾、缓效钾和难有效钾，三者合称为土壤全钾。前二者分别用 1molL^{-1} 的醋酸铵和 1molL^{-1} 的 HNO_3 提取。速效钾主要包括水溶性钾和交换性钾。缓效钾主要是矿物层间固定态钾和次生矿物中所含的钾。难有效钾主要是原生矿物钾。土壤全钾中交换性K占1—2%，水溶性K又占交换性K的1—2%；固定态K占全钾1—10%。土壤中难有效性K是作物不能利用的矿物态K。各种不同形态钾之间存在着平衡和转化(图1)。

水溶态钾是烟株根系能直接吸收的钾。虽然交换态钾也可以通过与烟株根系接触交换而直接被烟株吸收，但其所占的比例甚微。因此，其他形态的钾通常要转入到土壤溶液中，才

能被烟株吸收，前人的许多研究结果表明：烟株吸收的钾主要是速效钾。一般来说，土壤中速效钾含量越高，烟株吸收的钾量亦越多。所以，提高烟叶含钾量，必须从提高土壤中速效钾（即水溶态 K^+ 和交换态 K^+ ）的含量着手。由图 1 可见，提高土壤中水溶态钾的含量，有 3 个可能的途径：其一是加速矿物态钾的风化和交换态钾的解吸；其二是增加肥料钾的投入；其三是减少速效钾的固定和流失。

矿物风化是一个极其缓慢的地质过程，主要取决于物理化学风化和生物风化的强度。在实际生产中，可通过频繁的耕作改变土壤物理化学环境，从而提高原生矿物和次生矿物的分解速率，进而增加钾的释放，其所增加的数量当然也是可观的；另一方面，通过接种喜钾微生物，加速含 K 矿物的生物风化过程，也是一个较有前途的选择，有关这方面的研究，我们将另作专题报道。

钾肥施入土壤后的初期，都以水溶态和交换态存在，即均为速效 K，但随着时间的延续，这些速效 K 会逐渐向次生矿物的层间扩散而被固定，从而变成缓效态甚至难有效态，而难以被烟株利用；另一方面，土壤中水溶 K 还将随雨水及过量灌溉水而淋失至远离烟株根系的土层，亦可随地表径流而进入地质大循环中。因此，运用各种方法阻止钾肥在土壤中的固定和流失，提高钾肥利用率，是确保烟叶具有较高含钾量的一个重要措施。

土壤中交换钾的含量取决于土壤矿物类型、交换量(CEC)、陪伴阳离子组成、固定态钾的释放量、水溶钾的含量和土壤水分状况等因子。因为吸附与解吸是一个化学平衡过程，当烟株吸钾时，一切有利于钾解吸的因子都能促进烟株对钾的吸收；反之，则有助于钾素在土壤库中的有效保护和贮存。

土壤中所流失的钾主要是水溶态钾。交换态钾相对不易流失，除非土壤遭受侵蚀。因此，使水溶态钾转变成交换态钾有利于提高钾肥的利用率。交换态钾与水溶性钾之间的关系可用 Langmuir 方程描述：

$$X = V_{\max} bC / (1 + bC)$$

式中：X 是交换态钾的量；C 是水溶钾的量； V_{\max} 是钾的最大交换容量；b 是交换平衡常数。由此式可见，提高 V_{\max} 数值即可增加吸附态钾量，减少水溶性钾。而 V_{\max} 是一个受土壤表面电荷和土壤比表面影响的常数。表面电荷密度越大，比表面越大， V_{\max} 也越大，钾也越难流失。提高 V_{\max} 数值还可以增加钾在土壤和矿物表面移动的困难，减少钾向层间的扩散，从而减少钾的固定。提高 V_{\max} 数值的方法主要是向土壤中添加带有大量负电荷的化学高聚物。

调控土壤中钾的传质过程是调节土壤钾和钾肥进入土壤后利用状况的又一个重要方面。事实上，用化学方法从土壤中浸提出的有效养分并不是全部有效的，只有根际（一般指根表 2 毫米的圆柱范围内）的有效养分才是真正有效的养分。而根际外的养分由于一时还不能被根系吸收利用，只能是潜在有效态^[6]。根际外的养分必须通过传质过程才能到达根表而被吸收。而传质过程（质流和扩散）是极其缓慢的，远远赶不上根系对钾的吸收速率，结果造成了根际养分（尤其是钾素）的大量亏缺，从而使得根际实际有效钾的含量远低于非根际土壤的含钾量，从而导致烟草吸钾量不足。因此，改善传质过程（主要是适宜的水分状况）就可以提高烟叶的含钾量。

四、烟株钾素的行为和调控

在土壤—烟株系统中，钾素由源（土壤钾和肥料钾）进入烟株（库）后又形成几个子库—

即烟叶库、烟茎库、烟根库、顶芽和赘芽库等。由于各子库的工业价值相差极大，其中以烟叶尤其是中、上部烟叶的利用价值最高。因此，增加烟叶库中K的累积，减少根、茎、顶芽和赘芽等库中的钾含量是至关重要的。为此，在实际生产中常借助于打顶抹杈或使用腋芽抑制剂、生长调节剂和生理活性物质调节钾在烤烟体内的再分配。

五、对烟株吸钾过程的调控

(一)营养调控

土壤中的钾必须为烟株所吸收，才能对烟株的生长和品质发生作用。促进烤烟烟株对钾的吸收传统的方法，增加钾肥的用量，即所谓的营养调控方法。无疑，增加钾肥用量对改善我国烤烟的钾素营养，提高烟叶含K量和烤烟品质是十分有效的。但是，随着钾肥用量的增加，烟叶中含K量增加的速度将有所下降，当钾肥用量达到一定水平，即使再增加钾肥用量，烟叶中的含钾量将不再上升^[1]。这是因为植物对养分的吸收是一个耗能过程，任何影响植物能量代谢的因素都将影响植物对钾的吸收。此外，钾肥施用方法(撒施、条施等)、施用时间以及钾与其他营养元素的比例等都将影响营养调控的效果。

(二)生理调控

所谓生理调控是指通过对植物生理过程的干预而调节对钾素的吸收。主要有以下3方面的内容：钾与其他营养元素的相互作用对钾素吸收的影响；水分对钾素吸收的影响；活性化学物质与钾素的相互作用对钾吸收的影响。

许多营养元素之间存在着相互作用，包括拮抗作用和促进作用。烟草中Ca-Mg-K之间的拮抗作用即为一例^[1,7]，烟叶中钙和镁的含量与烟叶中钾的含量呈显著的负相关。

水分通过土壤和植物而影响植物对钾的吸收。水分不足时将导致烟株一系列生理过程的失调；水分过多时，又使烟株根系发育受阻，二者都将影响烤烟对K素的吸收。此外，土壤水分还影响到K素的有效性而影响烤烟对钾的吸收。

利用生理活性化学物质影响植物对钾吸收及运转是生理调控的主要内容。例如IAA能诱导ATP酶的形成，而ATP酶能将 H^+ 泵出细胞外，一方面导致细胞内负电荷的产生和胞内外的电位差，于是促使 K^+ 和蔗糖进入细胞；另一方面导致质外体酸化，细胞壁结构松弛，增强延展性。

另外，烤烟根系和烟叶还存在着一个与钾的吸收过程完全相反的钾离子向土壤中分泌和外溢的过程。在某些情况下，钾的分泌速度大到几乎可以与吸收速率相等的地步^[8]。烟草的叶面积很大，降水能使大量的钾从叶内外溢。所以，适当控制烟草叶面和根系外溢和分泌量就可以保证烟叶内K含量处于较高的水平。

(三)基因调控

自然界的许多现象提示我们：生长于同一地点、同一土壤上的不同种类的植物，有的生机盎然，有的却因为营养的缺乏而生长不良。这就是由于植物营养基因型的不同而导致植物对养分利用能力和环境适应能力的差异。可见，通过育种或者基因转移技术亦可培育出高效吸钾型的烤烟品种。

烟草离体根培养试验表明：在低K溶液中，两个不同品种的白肋烟，其吸K量竟相差2倍^[9]，在生产实践中常可见到，某些烤烟品种耐肥性很强，另一些品种耐肥能力却很弱，这些都是基因差异在营养上的表现。随着生物工程技术的进展，利用转移基因(下转第128页)

不断加强。可见,生物气候因素引起土壤性质及矿物组成的变化比其它因素来得强烈。

参 考 文 献

- [1] Mitchell, W. A., Heavy Minerals, pp449—480, in Gieseking, J. E. (ED.) Soil components vol 1.2. Inorganic components. Springer—verlag, New York. 1975.
- [2] Barshad, I. Chemistry of soil developming. In Beat F. E. (ed) Chemistry o Soil (second edition)pp.1—70. Reinhold publishing Co. New York. 1964.
- [3] Teveldal, S. Jorgensen,P. and Stuanes, A. O. lang—term weathering o silicates in a Sandy soil at Nordmoen, Southern Norway. Clay Miner, 25:447—465. 1990.
- [4] 陈健飞, 铁在铁铝性土壤发生分类上的意义, 土壤地理研究, 2期, 12—19页, 1985。
- [5] 蒋梅茵, 江西泰和第四纪红色粘土的矿物特征, 沉积学报, 3:95—104, 1985。
- [6] 朱鹤健, 福建东部山地土壤丘陵土壤基本特征, 土壤学报, 20卷3期, 225—237页, 1983。
- [7] 赵其国, 昆明地区不同母质对红壤发育的影响, 土壤学报, 12卷3期, 253—264页, 1964。
- [8] 蒋梅茵等, 玄武岩发育的几种红壤的矿物特征, 土壤学报, 28卷3期, 268—275页, 1991。
- [9] 杨德涌等, 我国东部花岗岩发育的红壤和黄壤的粘粒矿物组成及其演变, 土壤学报, 28卷3期, 276—283页, 1991。
- [10] 徐凤琳, 中南地区土壤中的14埃过渡矿物, 华中农业大学学报, 6期, 8—12页, 1989。
- [11] Rutherford,G. K. and Debenham. P. L.The mineralogy of some siltand clay fractions from soils on the Faeroe Islands. 132:228—299. 1981.

(上接第122页)

工程培养出高效吸钾基因型烤烟新品种已成为可能。

植物在矿质营养遗传上的差异是多方面原因引起的,可能有以下几个方面的机理:根系从介质中吸收养分能力的差异;养分在根中移动和向木质部输送的差异;植物地上部分分配的差异和植物代谢及生长过程中养分利用率的差异等。

我国的植烟区土壤的酸度、养分含量和气候等方面千差万别,不同品种的烤烟,其适应环境能力不同。因此,选择适宜的烟草品种是保证烟叶质量的关键。目前,我们正在设想通过生物工程技术进行吸K基因的分析,克隆和基因移植,以培育出高效吸钾基因型烤烟新品种。

参 考 文 献

- [1] 曹志洪, 我国烟叶全钾状况及其与植烟土壤环境条件的关系, 优质烤烟生产的土壤与施肥。江苏科学出版社, 1991。
- [2] Hawks, S. N. Jr. and Collins,W. K. Principles of flue—cured tobacco production. N. C. State University NC. USA, 1983.
- [3] 史瑞和, 植物营养原理, 江苏科学出版社, 1989。
- [4] 韩锦峰等, 烤烟干物质累积和NPK吸收分配规律的研究, 河南农业大学学报, 第1期, 8—17页, 1987。
- [5] 沙戈, 烟草栽培, 农业出版社, 1985。
- [6] Barber, S. A., soil nutrition bioavailability—A mechanistic approach, John Wiley and Sons,New York, 1984.
- [7] Chouteau, J. and Fauconnier,D., Fertilizing for high quality and yield tobacco. International potash institute. Bern Switzerland. 1988.
- [8] Glass, A. D. M., plant nutrition,An introduction to current concepts, Johns and Valley publishers, Boston/Portola. Valley, 1989.
- [9] Hiatt, H. J., Plant and soil. 18:273—276, 1963.