

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.19177

泸州烤烟养分管理的关键技术参数研究

李 君¹, 张云贵^{1*}, 谢 强², 刘青丽¹, 李志宏¹, 李健铭⁴,
张永辉², 夏建华³, 郭仕平³

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 烟草行业生态环境与烟叶质量重点实验室, 北京 100081; 2. 四川省烟草公司泸州市公司, 四川 泸州 646000; 3. 四川省烟草公司, 四川 成都 610041; 4. 黑龙江八一农垦大学, 黑龙江 大庆 163319)

摘 要: 采用大田试验, 以云烟 87 为材料, 在四川泸州烟区开展了氮肥 4 水平、磷钾肥 2 个水平的田间试验, 研究了氮、磷、钾肥配施对烤烟生长、养分吸收分配和利用率的影响。结果表明, 随着施氮量的增加, 烟株及各部位干物质累积和氮磷钾累积呈先升后降的趋势, 在施氮量为 90 kg/hm² 时达最大值; 氮、磷、钾养分对烟株干物质累积和分配以及养分吸收的影响程度为磷 > 氮 > 钾; 氮肥的偏生产力符合“报酬递减”规律, 表观利用率和农学利用率随施氮量的增加呈“先升后降”的趋势, 施氮量在 90 kg/hm² 时利用率最高; 氮、磷、钾最大积累速率分别出现在移栽后 71、59、69 d; 最高产量施氮量为 79.5 kg/hm², 最高产量为 1 969.4 kg/hm², 最高经济效益施氮量为 69.5 kg/hm², 此时达到的产量为 1 956.1 kg/hm²。每生产 100 kg 干烟叶, 最优施肥处理需要的氮、磷、钾纯养分量分别为 5.1、0.9、8.1 kg。泸州烟区土壤养分含量很高, 根据氮肥效应函数和当地烟叶均价, 当地推荐施氮量为 69.5 ~ 79.5 kg/hm²。

关键词: 施肥; 烤烟; 养分管理; 养分吸收; 肥料利用率; 肥料效应函数

泸州是我国重要的烟叶产区, 年产量 1 275 ~ 1 872.10 kg/hm²。研究泸州烟区的施肥参数对提高烤烟养分管理水平、提升烟叶品质具有重要意义。氮是影响烤烟生长发育和烟叶产量最重要的元素, 在实际生产中, 为获得高产, 肥料氮往往是过量投入; 钾是烟叶的品质元素, 在烤烟生产过程中, 追求高质量烟叶刺激钾过量投入; 泸州烤烟生长前期温度偏低, 土壤磷有效性低, 需要高量肥料磷投入, 以确保烤烟正常生长发育, 因此肥料磷也是过量投入。在氮、磷和钾过量投入且烤烟连作普遍存在的背景下, 土壤有效养分逐年累积, 如四川省烟田与农田比较, 有效磷分别是 27.2 和 16.2 mg/kg, 速效钾分别是 219.7 和 89.7 mg/kg^[1], 导致烟田土壤肥力高于当地普通农田。烟田养分累积量过高会导致肥料淋失和引起地下水污染等环境问题^[2]。因此本研究以高肥力土壤为出发点, 研究不同肥料用

量烤烟的肥料效应, 明确烤烟氮、磷、钾肥料利用率及目标产量的养分需求, 确定适宜的肥料施用量, 用于指导烤烟养分管理。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于四川省泸州市古蔺县大寨乡大寨村, 东经 105° 38' 35", 北纬 28° 07' 58", 海拔 1 031 m, 处于四川盆地南缘乌蒙山系大娄山西段北侧, 在四川省宜宾市、贵州省毕节市和遵义市、重庆市南部等几个烟草种植区的中部, 丘陵地貌的坝子地, 土壤类型为黄壤, 土壤 pH 值为 5.4, 略低于烤烟最适宜的 pH 值 5.5 ~ 6.5 范围, 土壤肥力中上等, 全氮含量 3.21 g/kg, 碱解氮含量 269.7 g/kg, 有效磷 (P₂O₅) 含量 59.3 mg/kg, 速效钾 (K₂O) 含量 711.4 mg/kg, 有机质含量 44.5 g/kg。气候条件如图 1, 烤烟生长季平均温度 20.5℃, 日最高气温大于 35℃有 41 d, 其中 7 月份有 21 d, 日均温大于 20℃有 115 d, 大田生育期降水量为 597.6 mm, 4、5、6、7、8 月份降水量分别为 111、64.6、237.3、48、118 mm, 月平均湿度在 65% 以上。

收稿日期: 2019-04-24; 录用日期: 2019-08-04

基金项目: 中国烟草总公司四川省公司科技项目 (SCYC201707, SCYC201702)。

作者简介: 李君 (1996-), 女, 江西赣州人, 在读硕士研究生, 研究方向为作物养分管理。E-mail: lijun3535@163.com。

通讯作者: 张云贵, E-mail: zhangyungui@caas.cn。

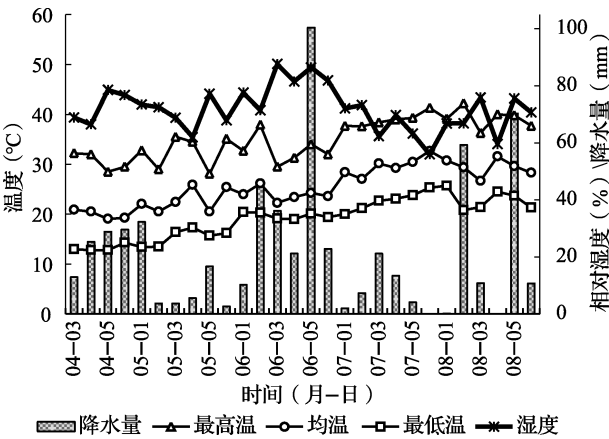


图1 烤烟生长季的主要气候条件

1.2 试验设计

当地烤烟习惯施肥的磷、钾用量远超过实际需求，多年种烟农田土壤有效磷、速效钾含量均较高，试验设置重点考虑氮素养分的合理投入量和磷、钾的当季利用。试验设7个处理，氮肥4水平、磷钾肥2个水平，3次重复，共21个小区，随机区组排列，小区面积52 m²，四周设置保护行，栽植密度16 500株/hm²；各处理养分投入见表1。

表1 试验处理养分投入 (kg/hm²)

处理	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
I	0	0	0
II	0	90	270
III	45	90	270
IV	90	90	270
V	135	90	270
VI	90	0	270
VII	90	90	0

试验用肥为烟草专用肥(10-20-20)，氮、磷、钾不足则分别使用尿素(N：46%)、普钙(P₂O₅：16%)、硫酸钾(K₂O：50%)补充。氮肥和钾肥的基追肥比例为7：3，磷肥全部作底肥施用，各小区均施用商品酒糟有机肥(N-P₂O₅-K₂O：2-1-2)，有机肥用量750 kg/hm²。底肥在移栽前7 d 窝施，追肥在移栽后25 d 于烟株两侧15 cm处施入，肥料埋深10 cm。

品种采用当地主栽品种云烟87。移栽时间为2017年4月17日，采烤起始时间为7月12日，采烤结束时间为8月24日。

1.3 采样与测试

基础土壤样：试验地施肥前，多点取样混合土壤样品1 kg，测定pH值、有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾。

植株样：打顶前，选择小区内有代表性的植株2棵挂牌；植株样分根、茎、下部叶、中部叶和上部叶5个部位取样，根和茎在采收结束后取样，下部叶、中部叶和上部叶于该叶位成熟时采集挂牌植株成熟叶并对应于同一植株样。测量鲜重、干重，粉碎后测定N、P、K含量。

化学成分与评吸样：采烤时按小区挂牌采烤，烘烤结束后按小区分级称重，计产计值。采烤结束后，每个处理取C3F等级烟叶1 kg，测定常规化学成分，并进行评吸。

1.4 数据处理

试验数据采用Excel 2013、SPSS 20.0和Sigmaplot 12.0进行统计分析。

烤烟氮肥利用率计算方法如下^[3]：

$$RE = (U - U_0) / N$$

$$AE = (Y - Y_0) / N$$

$$PFP = Y / N$$

式中：RE—氮肥利用率(%)；AE—氮肥农学利用率(kg/kg)；PFP—氮肥偏生产力(kg/kg)；U—施氮区烟株吸收氮量(kg/hm²)；U₀—处理II(不施氮)烟株吸收氮量(kg/hm²)；N—作物施氮量(kg/hm²)；Y—作物产量(kg/hm²)；Y₀—处理II(不施氮)产量(kg/hm²)。

磷、钾肥利用率的计算方法与氮肥相同。

2 结果与分析

2.1 烤烟干物质累积和分配

由图2可知，与最优施肥处理(IV)相比，不施肥处理(I)的干物质累积降低了44.3%，减产比例高达50.3%，说明即使在土壤背景值很高的情况下，烤烟种植不施肥仍然导致大幅度减产。不施氮(II)、不施磷(VI)和不施钾(VII)处理烟株的干物质累积量分别为182.87、172.73、214.15 kg/hm²，与最优施肥处理(IV)相比，减产比例分别为45.1%、48.9%和39.9%，氮、磷、钾三要素中，从不施肥导致减产的重要程度来看，磷>氮>钾。从不施氮(II)、减氮(III)、最优(IV)和增氮(V)处理可以看出，在磷和钾固定的情况下，随着氮肥用量的增加，烤烟干物质累积表现

为先增加、达到最大值后降低的趋势，最优施肥处理（IV）干物质累积最大，说明氮肥投入过高过低都不利于烤烟干物质累积。从根、茎、叶干物质分配来看，对照、不施氮、减氮、最优、增氮、不施磷、不施钾处理根茎分配比例分别为 55.48%、58.35%、61.2%、49.97%、59.03%、59.23%、60.52%，最优施肥处理根茎比例最低，说明最优施肥处理能够降低根和茎的比例，提高叶片的干物质累积比例，有利于烤烟的烟叶产量形成。

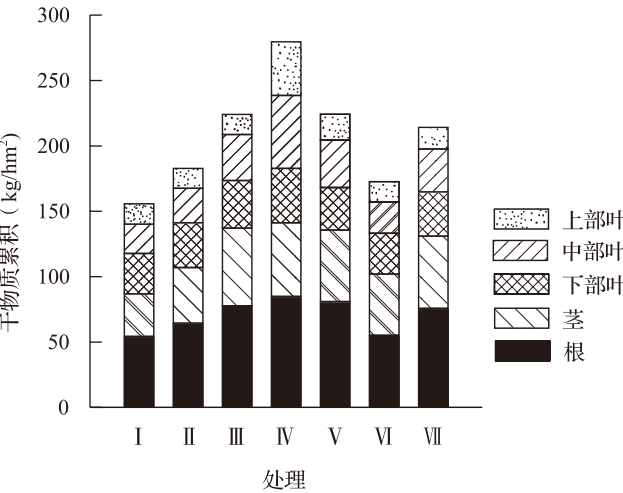


图2 不同施肥处理对烤烟干物质累积分配的影响

2.2 氮磷钾在烟株各部位的分配

从图3中可以看出，各处理烤烟对氮磷钾养分的吸收表现为钾>氮>磷，不同处理间氮磷钾吸收量表现为相同的趋势。

本试验中，不施肥处理（I）的氮素累积量最低，仅为 59.35 kg/hm²，是最优施肥处理（IV）的 45.38%。有研究表明，氮素的累积与烟叶产量呈正相关，氮施用量过高或过低都会使烟株氮含量降低，适宜的施氮量是烤烟优质高产的保证^[4-6]。从图3可以看出，在磷、钾用量相同的情况下，随着施氮量的增加，烟株氮累积量呈先升后降的趋势，最优施肥处理显著高于其它处理，达 130.8 kg/hm²，增氮处理氮素累积量比最优施肥处理减少了 28.82%，说明一定程度增施氮肥有利于烤烟的氮素累积和产量形成，而高氮肥的施用会抑制烤烟氮素累积和产量形成。不施氮、不施磷、不施钾处理的氮素累积量分别为 67.74、67.08、85.56 kg/hm²，对烟株氮素累积的影响顺序为磷>氮>钾。不同施肥处理氮素分配率均以叶中最高，茎中次之，根中最少；方差分析表明，氮素在茎、下部叶、上部叶的分配率在7种肥料处理间差异不显著，但在中部叶和根部有差异，根、茎、叶氮素分配率最大值分别出现在减氮、增氮和最优施肥处理，说明最优施肥处理能增大烟株叶部氮素分配比例。

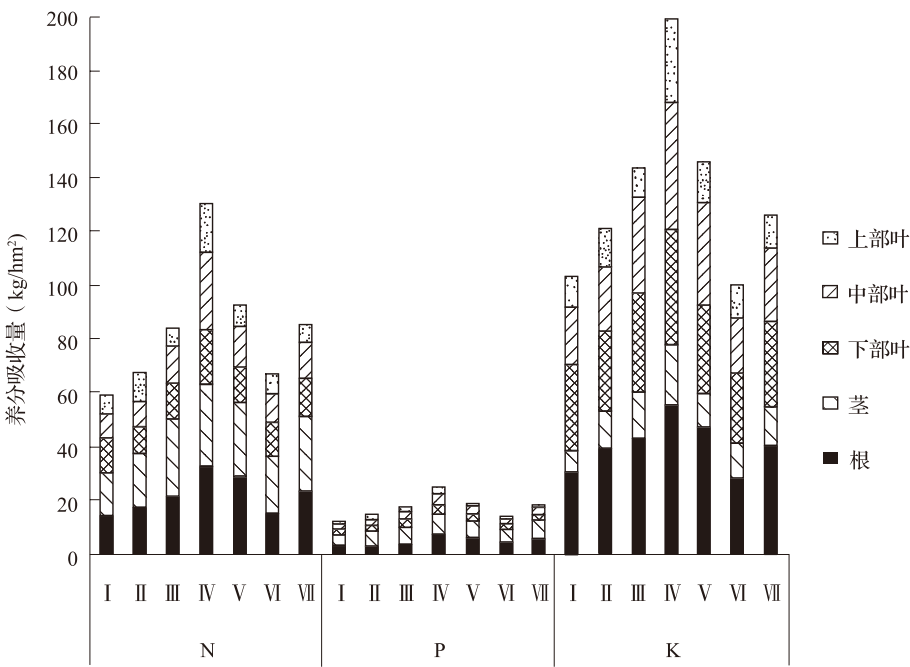


图3 不同施肥处理烟株氮、磷、钾的吸收

从不同施肥处理烟株磷素积累量可以看出, 最优施肥处理烟株磷素积累量最高, 达 24.7 kg/hm^2 , 空白处理 (I) 最低, 为 11.77 kg/hm^2 。在磷、钾用量相同的情况下, 随着施氮量的增加, 烟株磷素积累量呈先增加后降低的趋势, 最优比不施氮处理提高了 36.48%, 表明在一定范围内, 增施氮肥有利于提高烟株对磷的吸收, 增氮比最优施肥处理降低了 22%, 说明高氮施用会抑制烤烟对磷素的吸收。不施氮、不施磷、不施钾 3 个处理磷素积累量分别为 14.15、13.64、 17.79 kg/hm^2 , 对烟株磷素累积的影响顺序为磷 > 氮 > 钾。从不同部位磷素分配率来看, 不施肥和减氮处理叶部磷素分配率高于其它处理, 但磷素积累量以最优施肥处理最高, 说明合理的氮肥施用可以促进烤烟的磷素累积。

钾是烤烟的品质元素之一, 烤烟含钾量高低是衡量烟叶品质的重要依据。如图 3 所示, 最优施肥处理钾素积累量显著高于其它处理, 达 199.32 kg/hm^2 , 不施磷处理最低, 为 100.34 kg/hm^2 , 空白处理为 103.54 kg/hm^2 ; 在磷钾用量相同的情况下, 不同施氮量对烟株钾素积累量的影响与氮、磷相同, 随着施氮量的增加呈先升后降的趋势; 不施氮、不施磷、不施钾 3 个处理钾素积累量均小于氮磷钾配施, 不

施钾最高 (126.39 kg/hm^2), 是最优处理的 72%, 不施磷最低, 是最优施肥处理的 50.34%, 3 个处理对烟株磷素累积的影响顺序为磷 > 氮 > 钾。不同施肥处理钾素在烟株各部位分配率无显著差异, 说明肥料用量对钾素在烟株各部位的分配比例影响不大。

2.3 百千克烟叶氮磷钾需求量

在成熟期, 根据不同处理烟叶吸收的氮磷钾量和烟叶产量, 可以计算出每生产 100 kg 干烟叶氮磷钾的需求量。空白处理氮磷钾需要量分别为 5.1、1.0、8.9 kg, 不施氮处理分别为 5.2、1.1、9.3 kg, 减氮处理分别为 6.0、1.2、10.1 kg, 最优处理分别为 5.1、0.9、8.1 kg, 增氮处理分别为 6.0、1.2、9.4 kg, 不施磷处理分别为 5.9、1.2、8.8 kg, 不施钾处理分别为 5.9、1.2、8.8 kg。除去从土壤中吸收的养分, 烟株从肥料中吸收的养分以减氮处理最高, 增氮处理次之, 最优处理最低。

2.4 烤烟肥料利用率

不施氮 (II)、不施磷 (VI) 和不施钾 (VII) 处理用于计算减氮 (III)、最优 (IV)、增氮 (V) 3 个处理的表观肥料利用率, 根据各处理成熟期烟株氮磷钾养分含量和干物质积累量, 计算养分累积吸收量, 从而计算出肥料利用率 (表 2)。

表 2 烤烟肥料利用率

处理	氮肥利用率 (%)	磷肥利用率 (%)	钾肥利用率 (%)	氮肥农学利用率 (kg/kg)	磷肥农学利用率 (kg/kg)	钾肥农学利用率 (kg/kg)	氮肥偏生产力 (kg/kg)	磷肥偏生产力 (kg/kg)	钾肥偏生产力 (kg/kg)
III	54.74	—	—	5.20	—	—	33.02	—	—
IV	56.95	7.9	23.7	11.45	12.41	3.37	25.36	25.36	8.45
V	16.64	—	—	1.54	—	—	10.81	—	—

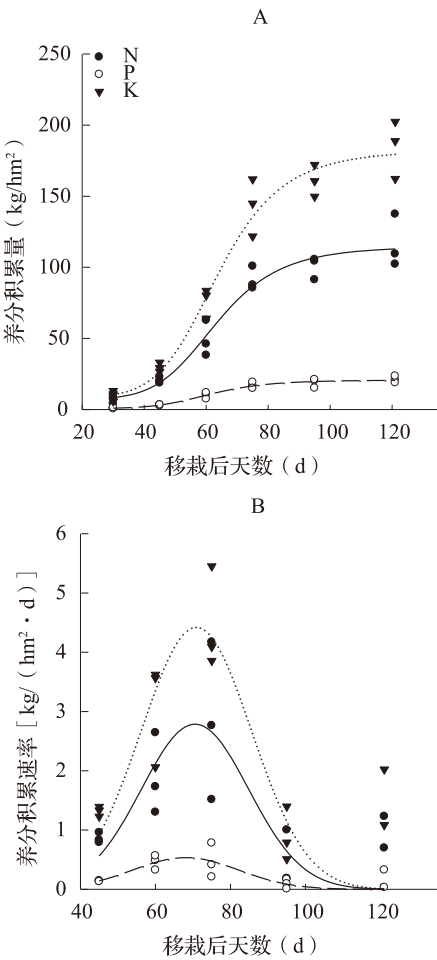
作物养分管理中, 肥料利用率是衡量施肥是否合理的重要指标^[7]。不同研究表明, 随着施氮量的增加, 氮肥偏生产力下降, 农学利用率和吸收利用率略有差异^[6, 8-9]。根据表 2, 在磷、钾用量相同的情况下, 处理 III、IV 和 V 氮肥用量逐渐增加, 氮肥的偏生产力逐渐降低, 符合“报酬递减”定律, 表明在磷、钾用量固定情况下, 随着氮肥用量的增加, 氮肥对烤烟的增产作用逐渐降低; 氮肥利用率和氮肥农学利用率呈现先增加后降低趋势, 在氮用量 90 kg/hm^2 时达最大值, 表明氮肥的利用效率只有在氮肥合理投入的情况下才能发挥最大的效率, 而在氮肥投入低或高时均不利于肥料利用效率发挥。

在本试验条件下, 磷肥利用率和钾肥利用率分别为 7.9% 和 23.7%, 肥料利用率不高, 表明在土壤高磷和钾背景值的条件下, 肥料的利用效率有限, 但是, 即使土壤氮、磷和钾的背景值高, 不施肥处理 (I) 的产量仍然处于一个很低水平; 本试验条件下, 钾肥表观利用率高于磷肥, 而钾肥的农学利用率低于磷肥, 这可能与烤烟喜钾且高量需钾的特性有关, 相比钾肥而言, 磷素养分需求量较低, 呈现出磷肥表观利用率低而农学利用率较高的状态。

2.5 烤烟养分吸收动态

用 Sigmaplot 软件模拟最优施肥处理烤烟移栽后的养分累积过程, 拟合采用 Logistic 函数。如图 4A 所示, 随着生育期的推进, 烤烟对氮、磷、钾

的积累呈 S 形曲线, 不同时期, 烤烟对钾素吸收最强烈, 氮素次之, 对磷素的吸收一直处于较低的水平。从表 3 可以看出, 不同生育时期, 氮磷钾养分在旺长期的累积量最大, 分别为 60.44、12.33、97.04 kg/hm², 占全生育期累积总量的比例分别为 53.50%、60.08%、53.96%, 伸根期养分累积最少, 氮磷钾累积量分别为 8.67、1.02、11.24 kg/hm², 占全生育期累积总量的比例分别为 7.67%、4.97%、6.25%。烤烟移栽后的养分积累速率模拟公式如图 4B 所示。从图 4 中可以看出, 烤烟前期养分积累速率较缓慢, 从移栽后 45 d 开始, 养分积累进入快速阶段, 氮、磷、钾最大积累速率分别出现在移栽后 71、59、69 d, 此时, 氮素、磷素、钾素积累量分别是最终积累量的 69.89%、46.39%、64.98%, 随后积累速率逐渐降低。



A: $y=y_0+\frac{a}{1+\left(\frac{x}{x_0}\right)^b}$ B: $y=ae^{-0.5\left(\frac{x-x_0}{b}\right)^2}$

图 4 最优施肥处理烤烟大田期养分吸收动态

表 3 最优施肥处理不同生育时期烤烟养分累积

生育期	各时期养分累积 (kg/hm ²)			占全生育期累积总量 比例 (%)		
	N	P	K	N	P	K
伸根期	8.67	1.02	11.24	7.67	4.97	6.25
旺长期	60.44	12.33	97.04	53.50	60.08	53.96
成熟期	38.35	6.06	62.99	33.94	29.53	35.02

2.6 氮肥效应函数

根据不同施氮水平作氮肥投入与产量关系图, 模拟曲线为一元二次方程。如图 5 所示, 随着施氮量的增加, 产量呈先升后降的趋势。根据模拟公式求得, 泸州烟区最高产量施氮量为 79.5 kg/hm², 最高产量为 1 969.4 kg/hm², 根据当地肥料成本和烟叶均价, 可以得出最高经济效益施氮量为 69.5 kg, 此时, 达到的产量为 1 956.11 kg/hm², 收益为 23 145.39 元/hm²。

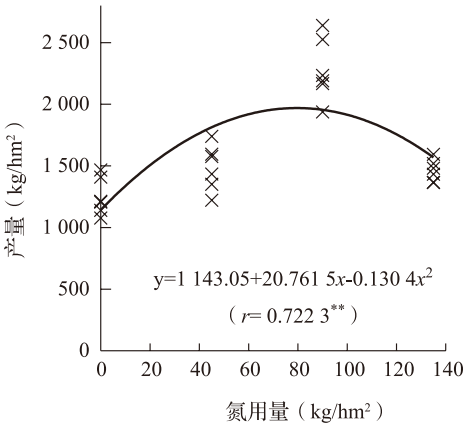


图 5 氮肥投入与产量关系曲线

3 讨论

烤烟是一种对氮素敏感的叶用经济作物, 过高或过低的氮均不利于烟叶品质的形成。在一定范围内, 随着氮用量的增加, 烤烟干物质累积量和氮磷钾养分的吸收量逐渐增加^[5, 10], 而本试验结果显示, 施氮量过高对烤烟生长具有抑制作用^[11], 可能由于在相同的基追肥比例(7:3)下, 增氮处理(135 kg/hm²)基肥施用量较大, 研究表明, 在土壤氮含量很高的情况下, 会抑制烤烟苗期根系的生长^[12], 本试验地土壤碱解氮很高(269.7 g/kg), 植株生长发育受阻, 从而导致增氮处理干物质和养分积累低于最优施肥处理, 但高于减氮处理。

氮肥利用率是计算氮肥施用量的重要参数,受土壤性质、作物种类、大田管理、气象等诸多因子的影响,变幅较大^[13-14]。氮肥利用率分为两种,一种是通过同位素研究获得的实际利用率;另外一种氮肥农学利用率,表征施氮对作物的促生产作用。本文用差值法计算氮肥农学利用率,常规施肥处理下氮肥利用率为56.95%,遵义正安、曲靖、始兴烟区的氮肥利用率分别为55%、31.7%、40.82%^[6, 9, 14],与其它产区相比,本试验地氮肥利用率偏高。巨晓棠等^[13]认为肥料在土壤中的残留是肥料氮与土壤氮的生物交换作用的结果,交换的土壤氮被作物吸收;杨馨逸等^[15]研究发现,高肥力土壤的氮肥利用率高于低肥力土壤,在相同肥力土壤上,氮肥利用率随施氮量的增加呈先增加后降低的趋势。邹勇等^[9]和石德杨等^[16]研究发现,随着施氮量增加,氮肥偏生产力逐渐减小。本研究发现,在高肥力背景的黄壤条件下,随着施氮量的增加,氮肥利用率和氮肥农学利用率呈先升后降的趋势,氮肥偏生产力逐渐减小,在90 kg/hm²的氮肥施用量下氮肥利用率最高,这与前人研究结果一致,因此合理施用氮肥可以提高烟田的氮肥利用效率。

刘青丽等^[4]、苏德成^[17]的研究表明,贵州省的烤烟适宜产量范围为1 815 ~ 2 250 kg/hm²,云南省的适宜产量范围为2 100 ~ 2 650 kg/hm²,西南烟区烤烟推荐施氮量范围在60 ~ 100 kg/hm²。泸州烟区的产量范围为1 275 ~ 1 872.10 kg/hm²^[18-19],本试验地的氮肥推荐量为69.5 ~ 79.5 kg/hm²,在西南烟区的推荐施氮量范围内。试验田产量为1 956.1 ~ 1 969.40 kg/hm²,与其它省份相比,产量偏低。这可能与当年气候相关,烤烟生长前期干旱,不利于烤烟根系的生长;6月是烤烟旺长期,降雨量高达237.3 mm,高量降雨和日照时数偏低,土壤养分淋失的同时,低日照导致烤烟光合作用积累的干物质不够^[20];本年度烤烟成熟期遇高温干旱,产生热害,出现高温逼熟烟叶,缩短了烟叶的物质积累和转化时间,烟叶提前落黄,甚至晒伤,影响烟叶产量提高。

4 结论

适量施用氮肥可以促进烤烟的干物质和氮磷钾养分累积,提高氮肥利用率,本试验中,施用90 kg/hm²时各指标最优,氮肥施用过不利于促进烤

烟生长和提升肥料效益,根据氮肥效应函数,推荐泸州烟区施氮量为69.5 ~ 79.5 kg/hm²。烤烟产量与气候条件密切相关,试验年份旺长期降水量很高,成熟期高温干旱,尽管施氮量在四川烤烟推荐施肥范围内,烤烟产量仍偏低。

参考文献:

- [1] 全国农业技术推广服务中心. 测土配方施肥土壤基础养分数数据库[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
- [2] 李东坡, 武志杰. 化学肥料的土壤生态环境效应[J]. 应用生态学报, 2008, (5): 1158-1165.
- [3] Novoa R, Loomis R S. Nitrogen and plant production[J]. Plant and Soil, 1981, 58 (1-3): 177-204.
- [4] 刘青丽, 陈卓, 张云贵, 等. 我国西南烟区典型植烟土壤烤烟氮素的吸收规律[J]. 作物学报, 2013, 39 (3): 486-493.
- [5] 化党领, 曹荣, 魏修彬, 等. 不同氮磷钾施肥量对烤烟农艺性状及养分吸收的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012, (4): 53-58.
- [6] 朱经伟, 李志宏, 彭友, 等. 整治烟田无机氮肥管理对烤烟氮素综合利用的影响[J]. 西南农业学报, 2016, 29 (1): 126-132.
- [7] 马兴华, 梁晓芳, 刘光亮, 等. 氮肥用量及其基追施比例对烤烟氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22 (6): 1655-1664.
- [8] 曹健, 屠乃美, 易迪. 施氮量和留叶数对烤烟根系活力与氮磷钾含量的影响[J]. 作物研究, 2012, 26 (4): 355-358.
- [9] 邹勇, 叶晓青, 余志虹, 等. 始兴烟区旱地烤烟氮素利用及生态经济适宜施氮量[J]. 中国烟草科学, 2015, 36 (4): 29-33.
- [10] 汪耀富, 张福锁. 干旱和氮用量对烤烟干物质和矿质养分积累的影响[J]. 中国烟草学报, 2003, (1): 20-24.
- [11] 王树会, 耿素祥. 过量施肥对烤烟生长发育和产质的影响[J]. 中国农业科技导报, 2010, 12 (5): 116-122.
- [12] 李春俭, 张福锁, 李文卿, 等. 我国烤烟生产中的氮素管理及其与烟叶品质的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, (2): 331-337.
- [13] 巨晓棠, 张福锁. 关于氮肥利用率的思考[J]. 生态环境, 2003, (2): 192-197.
- [14] 陈萍, 李明福, 李天福. 云南植烟土壤肥料利用率研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27 (18): 125-129.
- [15] 杨馨逸, 刘小虎, 韩晓日. 施氮量对不同肥力土壤氮素转化及其利用率的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49 (13): 2561-2571.
- [16] 石德杨, 张海艳, 董树亭. 土壤高残留氮条件下施氮对夏玉米氮素平衡、利用及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19 (1): 37-44.
- [17] 苏德成. 中国烟草栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005.

- [18] 罗定棋, 谢强, 谢云波, 等. 贵州6个烤烟新品种在四川泸州的适应性[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(10): 68-71.
- [19] 沈杰, 王昌全, 何玉亭, 等. 合理密植对不同株型烤烟冠层结构及光合生产特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(2): 284-295.
- [20] 化党领, 张诗卉, 王瑞, 等. 土壤氮和¹⁵N肥料氮在不同生长期烤烟各器官的积累[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(1): 32-36.

Study on key parameters of nutrient management for flue-cured tobacco in Luzhou

LI Jun¹, ZHANG Yun-gui^{1*}, XIE Qiang², LIU Qing-li¹, LI Zhi-hong¹, LI Jian-ming⁴, ZHANG Yong-hui², XIA Jian-hua³, GUO Shi-ping³ (1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Eco-environment and Leaf Tobacco Quality, Beijing 100081; 2. Luzhou Branch of Sichuan Provincial Tobacco Company, Luzhou Sichuan 646000; 3. Sichuan Provincial Tobacco Company, Chengdu Sichuan 610041; 4. Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing Heilongjiang 163319)

Abstract: Using “Yunyan 87” as test materials, field experiment was conducted to study the effects of application of nitrogen, phosphorus and potassium on tobacco growth, nutrient absorption and use efficiency by 4 levels of nitrogen and 2 levels of phosphorus and potassium. The result showed that: with the increasing of nitrogen application rate, the dry matter, nitrogen, phosphorus and potassium accumulation in tobacco plants and various parts were firstly increasing and then decreasing and all indexes above reached a maximum at 90 kg/hm² of nitrogen application. The effects of nitrogen, phosphorus and potassium nutrients on dry matter accumulation and distribution and nutrient uptake of tobacco plants were in the decreasing order: phosphorus>nitrogen>potassium. The partial productivity of nitrogen fertilizer was fitted to the law of “diminishing returns”. The apparent utilization rate and the agronomic efficiency of nitrogen fertilizer were firstly increasing and then decreasing with the amount of nitrogen increasing, and this two indexes above reached the maximum at 90 kg/hm² of nitrogen application. The maximum accumulation rate of N, P, K appeared at 71, 59, 69 d after transplanting. The nitrogen fertilization producing the highest yield (1 969.4 kg/hm²) was 79.5 kg/hm²; the nitrogen fertilization resulting in the best economic benefits (1 956.1 kg/hm²) was 69.5 kg/hm². To produce 100 kg tobacco leaf, the required amounts of N, P, K were 5.1, 0.9, 8.1 kg, respectively. The soil nutrient content was high in Luzhou. Considering the effects of application nitrogen fertilizer on tobacco dry matter, nitrogen use efficiency and tobacco price, the recommendation application rate of nitrogen fertilizer was 69.5 ~ 79.5 kg/hm².

Key words: fertilizer; flue-cured tobacco; nutrient management; nutrient absorption; fertilizer efficiency; fertilizer effect function

[上接第99页]

Different treatments had different effects on rice yield. For the treatment of combined A1B1, A2B1 and A3B1, the yield of rice increased by 28.0%, 27.2% and 29.7%, respectively. The effects of combined regulation on yield increase were better than those of the single agents. The contents of arsenic and inorganic arsenic in roots, stems and leaves, brown rice of different treatments decreased to different extents, for the combined treatment A2B1, they were reduced by 60.3% and 77.1%, and the effect was obviously better than other measures. Under different treatments, the transport coefficient from roots to stems and leaves, stems and leaves to brown rice, roots to brown rice were significantly reduced, the effect of combined treatment A2B1 was better than others. In summary, adopting soil passivation-agronomic joint control measures, basal application with combined passivation of vermiculite and ferrous sulfate, at the same time, spraying foliar silicon fertilizer in rice filling stage and heading stage (A2B1 joint regulation) could effectively repair the arsenic contaminated soil in Gejiu mining areas, and effectively reduce the arsenic and inorganic arsenic in the brown rice and improve the safety and quality of rice in the mining areas. This technology could be applied in arsenic contaminated farmland.

Key words: arsenic; deactivator; species; rice