

钾肥用量和追肥时期对抗黑胫病红花大金元烟叶化学成分及产量和质量的影响

夏玉兰¹ 王德勋² 赵园园¹ 范志勇² 李娟² 王阁¹ 赵志豪¹ 史宏志¹

(¹河南农业大学烟草学院/烟草农业减害研究中心/烟草行业烟草栽培重点实验室,
450046, 河南郑州; ²云南省烟草公司大理州公司, 671000, 云南大理)

摘要 为探究烤烟新品种抗黑胫病红花大金元配套钾肥施用技术,以抗黑胫病红花大金元为材料,在云南大理设置钾肥用量和追肥时期田间试验,研究了不同处理对烟叶化学成分及产量和质量的影响。结果表明,相比于单次追肥,分次追施钾肥中部叶叶长增加 3.2%~5.3%,叶宽增加 6.9%~12.0%,钾、钾氯比分别增加 8.0%~11.3%和 13.6%~22.9%;上部叶叶长增加 3.2%~5.9%,叶宽增加 9.6%~10.8%,钾、钾氯比分别增加 8.8%~12.1%和 22.9%~41.3%;并且从经济性状来看,分次追施钾肥产量增加 8.1%~14.0%,产值增加 12.6%~21.8%,均价增加 4.1%~6.9%,中上等烟比例增加 4.4%~7.0%。综上,钾肥施用量为 217.50 kg/hm²,于移栽后 30 和 45 d 各追 50% 处理烟株大田长势好,化学成分协调,感官质量及产量较好。

关键词 抗黑胫病; 红花大金元; 钾肥用量; 追肥时期; 化学成分; 产量; 质量

含钾量是评价烟叶品质的一个重要指标,其直接关系到烟叶的燃烧性、香吃味以及产品的安全性^[1]。烟叶含钾量高,则田间成熟度好,叶色呈深橘黄,还原糖含量较高,总氮含量较低,香气量足,具有较好的弹性和韧性^[2]。但钾是一种活性元素,容易流失,导致其利用率低,造成烟叶含钾量低和植烟土壤缺钾现象^[3],并且不同烟区植烟土壤中钾素含量和有效性不同,品种对钾素的吸收利用能力也存在一定差异。因此,生产优质烟叶需要施用的钾肥量及追肥时期也不尽相同,有针对性地采取与特定烟区和特定品种相适应的钾肥施肥技术,提高我国烟草叶片的含钾量和质量水平,是亟待解决的重要问题之一。

烟草黑胫病是世界烟草生产中最主要的病害,发病率高,分布范围广,造成的经济损失巨大^[4]。红花大金元是云南烟区的主要栽培品种之一,其清香型风格突出,工业需求量较大,但与其他云南主栽品种相比,红花大金元对黑胫病的抗性较差,种植规模难以扩大^[5]。因此,云南省烟草农业科学研究院以红花大金元为受体、抗黑胫病种质 RBST 为供体,经分子标记选择技术选育出抗黑胫病红花大金元品种云烟 300 (审定编号: 201806)。抗黑胫病红花大金元作为新品种,对钾素的吸收利用特性

尚不明晰,生产中缺乏相配套的钾肥施用技术,在钾肥用量及追肥时期等方面存在一定的盲目性。基于此,我们在云南大理洱源县三营镇开展不同钾肥用量及追肥时期的田间小区试验,旨在研究与抗黑胫病红花大金元品种相配套的钾肥用量和追肥时期,为优质抗黑胫病红花大金元烟叶生产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用抗黑胫病红花大金元为试验品种。试验于 2022 年在云南省大理白族自治州洱源县三营镇 (99°99' E, 26°22' N) 进行。采用五点取样法采集 0~20 cm 耕层植烟土壤,新鲜土样去除杂质风干后过孔径 2 mm 筛并混合均匀。土壤含全氮 2.86 g/kg、全钾 16.09 g/kg、速效钾 113 mg/kg、有机质 39.5 g/kg、pH 7.9。

1.2 试验设计

试验采用双因素随机区组设计。基肥施用固态有机肥 (N:P:K=2:4:4), 以 1500 kg/hm² 进行基施,在烤烟后期钾肥追施肥料品种选择液态有机肥 (N:P:K=6:2:12), 施用量为 750 kg/hm², 其余钾含量选择施用 K₂SO₄ (K₂O≥53.8%), 在烟苗移

作者简介: 夏玉兰, 主要从事烟草栽培生理研究, E-mail: yulanxia0110@163.com

史宏志为通信作者, 主要从事烟草栽培生理研究, E-mail: shihongzhi88@163.com

基金项目: 中国烟草总公司云南省公司科技项目 (2022530000241015)

收稿日期: 2023-05-09; 修回日期: 2023-07-23; 网络出版日期: 2023-10-26

栽后 30 和 45 d 分别进行溶水根施。钾肥纯钾用量 (A) 设 3 个水平: A₁, 217.50 kg/hm²; A₂, 240.00 kg/hm²; A₃, 262.50 kg/hm²。追肥时期 (B) 设 3 个水平: B₁, 移栽后第 30 天追 100%; B₂, 移栽后第 30 天、45 天各追 50%; B₃, 移栽后第 45 天追 100%。试验共设置 9 个处理, 每个处理重复 3 次 (表 1)。除试验处理外其他栽培管理措施及采收烘烤按照当地优质烟叶生产技术规范进行。

表 1 试验设计
Table 1 Experiment design

处理 Treatment	钾肥用量 Potassium fertilizer dosage (kg/hm ²)	追肥比例 Topdressing ratio (%)	
		移栽后 30 d 30 days after transplanting	移栽后 45 d 45 days after transplanting
A ₁ B ₁	217.50	100	0
A ₁ B ₂	217.50	50	50
A ₁ B ₃	217.50	0	100
A ₂ B ₁	240.00	100	0
A ₂ B ₂	240.00	50	50
A ₂ B ₃	240.00	0	100
A ₃ B ₁	262.50	100	0
A ₃ B ₂	262.50	50	50
A ₃ B ₃	262.50	0	100

1.3 测定项目与方法

1.3.1 农艺性状 参照 YC/T 142-2010^[6]进行农艺性状调查, 各小区选取 10 株代表性的烟株标记, 在移栽 45 d 开始, 每隔 15 d 进行 1 次农艺性状测定。

1.3.2 经济性状 根据烤烟 GB/T 2635-1992^[7]对烤后烟叶进行分级, 按照当地烟站收购等级和价格统计等级结构和均价, 并计算产量和产值等经济性状指标。

1.3.3 物理性状 分别取各个处理中部和上部具有代表性烤后烟叶各 1 kg, 采用测量法测定叶长和叶宽, 采用称重法测定单叶重和含梗率, 使用 BHZ1-1 型薄片厚度计 (石家庄诚信中轻机械设备有限公司) 测定叶片厚度, 用打孔铝盒称重法测定叶质重。

1.3.4 化学成分 分别取各个处理中部和上部具有代表性烤后烟叶各 1 kg 作为分析样, 采用 AAIII 型连续流动化学分析仪 (德国布朗卢比公司), 按照 YC/Z 240-2008^[8]测定化学成分含量。

1.3.5 香气成分 采用内标法测定烤烟中性致香成分, 内标为硝基苯。采用水蒸气蒸馏—二氯甲烷萃取法作前处理, 蒸馏萃取完成后, 旋转蒸发有机相至 1 mL 左右, 移至色谱瓶, 用气质联用仪

(GC/MS: Agilent 7890A-5975C, 安捷伦科技有限公司, 美国) 测定。

1.3.6 感官品质 将烤后烟切丝, 卷成单料烟, 由河南中烟工业有限责任公司和河南农业大学国家栽培生理生化研究基地评吸专家进行评吸打分。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2019、Origin 2021 和 DPS 进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同钾肥用量和追肥时期对烤烟农艺性状的影响

如表 2 所示, 在不同追肥时期处理中, 30 和 45 d 分次追施钾肥 50% 的株高、腰叶长、腰叶宽、顶叶长、顶叶宽均高于 1 次追施钾肥处理; 在不同钾肥用量处理中, A₁B₂ 处理的农艺性状均最好, 与 A₁B₁ 和 A₁B₃ 处理相比, 分次追施钾肥株高增加 2.9%~3.4%, 茎围增加 4.4%~4.6%, 腰叶长增加 0.4%~2.7%, 腰叶宽增加 2.8%~5.5%, 顶叶长增加 1.6%~4.2%, 顶叶宽增加 4.2%~7.2%。钾肥用量对农艺性状影响均达到极显著水平; 钾肥追肥时期对叶片数影响达到显著水平, 对其余性状的影响均达到极显著水平; 钾肥用量和追肥时期互作对茎围、腰叶宽和叶片数影响达到极显著水平, 对顶叶宽达到显著水平。表明 A₁B₂ 处理能显著增加烤烟株高、腰叶长、腰叶宽、顶叶长和顶叶宽。

2.2 不同钾肥用量和追肥时期对烤烟 SPAD 值的影响

在烟株移栽后 45、60、75 d 分别进行 SPAD 值测定, 结果如图 1 所示, 移栽后第 30 天追施钾肥 100%, 在第 45 天时促进了烟叶叶绿素的合成, 而在移栽后第 60 天烟叶叶绿素出现了下降趋势。在移栽后 75 d 时, 30 和 45 d 分次追施钾肥 50% 处理叶绿素降解较快, 其中 A₁B₂ 处理降解最明显, 表明烟株前期合理追施钾肥能促进叶绿素合成, 而后期能加快叶绿素降解, 并且分次追施钾肥促进叶绿素降解较明显。

2.3 不同钾肥用量和追肥时期对烤烟经济性状的影响

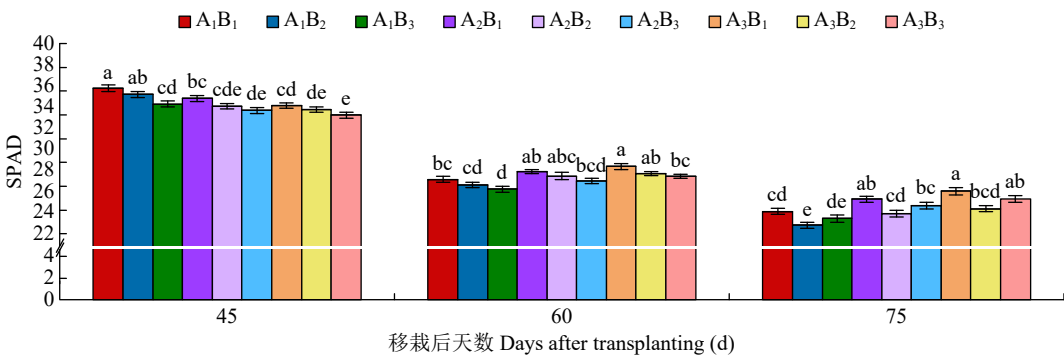
由表 3 可知, 在钾肥不同用量和追肥时期处理中, A₁B₂ 处理经济性状均最高, B₁ 处理均最低; 与 A₁B₁ 和 A₁B₃ 处理相比, A₁B₂ 处理产量增加 8.1%~14.0%, 产值增加 12.6%~21.8%, 均价增加

表 2 不同钾肥用量和追肥时期对烤烟农艺性状的影响
Table 2 Effects of different potassium fertilizer dosages and topdressing periods on agronomic traits of flue-cured tobacco

处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	茎围 Stem girth (cm)	腰叶长 Length of lumbar lobe (cm)	腰叶宽 Width of lumbar lobe (cm)	顶叶长 Length of top blade (cm)	顶叶宽 Width of top blade (cm)	叶片数 Number of blades
A ₁ B ₁	81.77b	11.23b	71.23abc	33.67ab	63.38bc	22.92bc	14.90ab
A ₁ B ₂	84.58a	11.75a	73.13a	34.60a	66.02a	24.58a	15.20a
A ₁ B ₃	82.23ab	11.25b	72.82a	32.79bc	64.98ab	23.60ab	14.50bc
A ₂ B ₁	81.65b	10.34d	69.54bc	31.47cd	61.96cd	21.08d	14.30c
A ₂ B ₂	84.01ab	11.05bc	72.96a	33.74ab	65.16ab	23.62ab	14.40c
A ₂ B ₃	82.12ab	11.18b	72.04ab	33.32ab	63.82abc	22.42c	14.50bc
A ₃ B ₁	77.78c	10.93bc	68.53c	30.98d	60.34d	20.66d	14.50bc
A ₃ B ₂	82.76ab	10.72cd	72.05ab	33.00b	64.85ab	23.08bc	14.20c
A ₃ B ₃	78.92c	10.88bc	69.12bc	30.61d	62.28cd	22.80bc	14.10c
F(A)	34.78**	41.42**	12.03**	46.76**	16.68**	40.99**	33.15**
F(B)	39.23**	12.77**	16.35**	35.89**	37.45**	74.49**	5.32*
F(A×B)	2.15	13.64**	1.51	8.01**	1.13	3.30*	7.18**

同列数据后标注不同小写字母：差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)；同列数据后标注*：相关性具有统计学意义 ($P < 0.05$)，同列数据后标注**：相关性具有高度统计学意义 ($P < 0.01$)，下同。

Different lowercase letters are marked after the same column of data: the difference is statistically significant ($P < 0.05$); The data in the same column is marked *: the correlation is statistically significant ($P < 0.05$), the data in the same column is marked **: the correlation is highly statistically significant ($P < 0.01$), the same below.



不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。
Different lowercase letters mean significant difference at the 0.05 level.

图 1 不同钾肥用量和追肥时期对烤烟 SPAD 值的影响
Fig.1 Effects of different potassium fertilizer dosages and topdressing periods on SPAD values of flue-cured tobacco

表 3 不同钾肥用量和追肥时期对烤烟经济性状的影响
Table 3 Effects of different potassium fertilizer dosages and topdressing periods on the economic traits of flue-cured tobacco

处理 Treatment	产量 Yield (kg/hm ²)	产值 (元/hm ²) Output value (yuan/hm ²)	均价 (元/kg) Mean price (yuan/kg)	中上等烟比例 Proportion of medium and high quality tobacco (%)
A ₁ B ₁	2552.62de	70 399.07de	27.58de	82.61bc
A ₁ B ₂	2909.33a	85 768.34a	29.48a	88.42a
A ₁ B ₃	2690.87bc	76 193.18bc	28.32bc	84.73b
A ₂ B ₁	2469.71ef	67 679.89efg	27.40de	80.67cd
A ₂ B ₂	2780.40b	79 317.89b	28.53b	83.49bc
A ₂ B ₃	2502.83ef	69 804.28ef	27.89cd	81.71cd
A ₃ B ₁	2380.99f	64 736.23g	27.19e	75.39f
A ₃ B ₂	2643.12cd	73 523.23cd	27.82cd	79.38de
A ₃ B ₃	2464.38ef	67 064.27fg	27.21e	77.63ef
F(A)	62.30**	149.03**	63.14**	130.41**
F(B)	128.49**	275.03**	87.19**	38.00**
F(A×B)	2.08	7.42**	8.10**	1.86

4.1%~6.9%，中上等烟比例增加 4.4%~7.0%；并且随着烤烟后期钾肥追施量的增加，烤烟经济性状呈现下降趋势。钾肥用量和追肥时期对烤烟经济性状影响均达到极显著水平；钾肥用量和追肥时期互作对烤烟产值和均价影响均达到极显著水平。以上表明分次追施钾肥能提高烤烟经济性状，但烤烟后期钾肥追施量过多会影响当地烟叶质量，增加烟农成本投入，因此选择 A₁B₂ 处理烟叶产量和质量最好。

2.4 不同钾肥用量和追肥时期对烤烟物理特性的影响

由表 4 可知，30 和 45 d 分次追施钾肥 50% 的中部叶叶长、叶宽和叶面积均高于 1 次追施钾肥处理，含梗率均低于 1 次追施钾肥处理，并且 A₁B₂ 处理的叶长、叶宽和叶面积均最好，与 A₁B₁ 和 A₁B₃ 处理相比，叶长增加 3.2%~5.3%，叶宽增加 6.9%~

12.0%，叶面积增加 10.3%~17.9%，含梗率降低 8.2%~8.7%。钾肥用量和追肥时期对烤烟中部叶物理特性影响均达到极显著水平；钾肥用量和追肥时期互作对中部烟叶叶长没有显著影响，对其余性状影响均达到极显著水平。以上表明烤烟后期分次追施钾肥能显著增加中部叶叶长、叶宽和叶面积，降低含梗率，但并不是追施钾肥越多越好，在 A₁B₂ 处理下较为合适。

表 4 不同钾肥用量和追肥时期对烤烟中部叶物理特性的影响
Table 4 Effects of different potassium fertilizer dosages and topdressing periods on the physical characteristics of middle leaves of flue-cured tobacco

处理 Treatment	叶长 Leaf length (cm)	叶宽 Leaf width (cm)	叶面积 Leaf area (cm ²)	厚度 Thickness (mm)	单叶重 Single leaf weight (g)	叶质重 Leaf density (g/m ²)	含梗率 Midrib ratio (%)
A ₁ B ₁	62.30bcd	25.00cd	988.23de	0.0980a	15.15a	87.52a	27.60b
A ₁ B ₂	65.60a	28.00a	1165.45a	0.0960a	13.24c	75.70d	25.39d
A ₁ B ₃	63.57abc	26.20b	1056.78bc	0.0897b	12.04e	73.00d	27.47bc
A ₂ B ₁	61.13d	24.00def	930.89f	0.0970a	15.09a	86.86a	27.59b
A ₂ B ₂	64.60ab	26.50b	1086.20b	0.0893b	14.31b	82.48b	26.44cd
A ₂ B ₃	62.27bcd	25.70bc	1015.42cd	0.0870b	12.61de	75.86cd	28.37b
A ₃ B ₁	60.83d	23.43f	904.32f	0.0957a	14.01b	85.47ab	30.14a
A ₃ B ₂	63.77abc	24.83cde	1004.67d	0.0893b	12.87cd	84.31ab	28.05b
A ₃ B ₃	62.00cd	23.93ef	941.38ef	0.0883b	11.37f	79.02c	28.09b
F(A)	9.00**	99.84**	120.12**	35.80**	89.67**	34.00**	65.62**
F(B)	34.53**	96.08**	174.43**	167.48**	426.68**	207.45**	59.86**
F(A×B)	0.11	5.39**	5.08**	9.09**	6.34**	20.34**	13.89**

由表 5 可知，对于上部叶而言，在不同钾肥用量和追肥时期处理中，30 和 45 d 分次追施钾肥 50% 的叶长、叶宽、叶面积、厚度、单叶重和叶质重均高于 1 次追施钾肥处理，含梗率均低于 1 次追施钾肥处理，并且 A₁B₂ 处理物理特性均最优，与 A₁B₁ 和 A₁B₃ 处理相比，叶长增加 3.2%~5.9%，叶宽增加 9.6%~10.8%，叶面积增加 13.1%~17.4%，厚度增加 13.6%~21.2%，单叶重增加 2.3%~13.0%，叶质重增加 7.3%~12.7%，含梗率降低 4.9%~11.8%。钾肥用量和追肥时期对烤烟上部叶物理特性影响均达到极显著水平；钾肥用量和追肥时期互作对上部烟叶叶长和含梗率没有显著影响，对叶质量影响显著，对其余性状的影响均达到极显著水平。以上表明 A₁B₂ 处理能显著提高上部叶物理特性，降低含梗率。

表 5 不同钾肥用量和追肥时期对烤烟上部叶物理特性的影响
Table 5 Effects of different potassium fertilizer dosages and topdressing periods on the physical characteristics of upper leaves of flue-cured tobacco

处理 Treatment	叶长 Leaf length (cm)	叶宽 Leaf width (cm)	叶面积 Leaf area (cm ²)	厚度 Thickness (mm)	单叶重 Single leaf weight (g)	叶质重 Leaf density (g/m ²)	含梗率 Midrib ratio (%)
A ₁ B ₁	57.27bcd	17.87bcd	649.36cd	0.1240e	11.22cd	74.13ef	26.92abc
A ₁ B ₂	60.67a	19.80a	762.20a	0.1503a	12.68a	83.52a	24.08e
A ₁ B ₃	58.80ab	18.07bc	674.17bc	0.1323bc	12.39ab	77.87cd	25.27de
A ₂ B ₁	56.47bcd	16.73ef	599.44ef	0.1197f	11.02de	73.23f	27.88a
A ₂ B ₂	58.07bc	18.47b	680.53b	0.1360b	12.37ab	81.13b	25.38d
A ₂ B ₃	57.23bcd	17.33de	629.29de	0.1283cd	11.51c	75.78de	26.28cd
A ₃ B ₁	55.00d	16.57f	578.25f	0.1117g	10.67e	67.81h	27.72ab
A ₃ B ₂	57.20bcd	17.97bc	652.19bcd	0.1267de	12.08b	78.48c	26.11cd
A ₃ B ₃	56.37cd	17.50cd	625.92de	0.1247de	11.26cd	70.31g	26.51bcd
F(A)	24.67**	86.84**	135.96**	218.09**	55.12**	164.98**	24.88**
F(B)	18.87**	142.81**	172.24**	382.38**	186.13**	354.85**	66.35**
F(A×B)	0.99	6.48**	7.25**	25.56**	4.99**	4.18*	1.66

2.5 不同钾肥用量和追肥时期对烤烟常规化学成分的影响

由表 6 可知，烤烟中部叶在不同钾肥用量和追肥时期处理中，与 1 次追施钾肥处理相比，30 和 45 d 分次追施钾肥 50% 的还原糖、总糖、钾含量和钾氯比最高，烟碱、总氮和氯含量最低，其中 A₁B₂

处理还原糖、总糖、钾含量和钾氯比最高，与 A₁B₁ 和 A₁B₃ 处理相比，分别增加了 7.0%~24.4%、1.3%~10.1%、8.0%~11.3%、13.6%~22.9%，A₁B₂ 处理的烟碱和总氮含量最低，与 A₁B₁ 和 A₁B₃ 处理相比分别降低了 3.5%~16.2%、1.2%~18.9%。钾肥用量、追肥时期对烤烟中部叶化学成分影响均达到极显著水平，钾肥用量和追肥时期互作中，除钾、氯含量和钾氯比外，对其余性状均达到极显著水平。结果表明分次追施钾肥能显著提高中部烟叶还原糖、总糖、钾含量和钾氯比，降低烟碱、总氮和氯含

表 6 不同钾肥用量和追肥时期对烤烟中部叶常规化学成分的影响
Table 6 Effects of different potassium fertilizer dosages and topdressing periods on conventional chemical composition of middle leaves of flue-cured tobacco

处理 Treatment	烟碱 Nicotine (%)	还原糖 Reducing sugar (%)	总糖 Total sugar (%)	总氮 Total nitrogen (%)	钾 Potassium (%)	氯 Chlorine (%)	钾氯比 Potassium-chloride ratio
A ₁ B ₁	2.05ef	28.60b	39.80ab	1.66ef	1.95cd	0.21cd	9.29c
A ₁ B ₂	1.98f	30.60a	40.30a	1.64f	2.17a	0.19e	11.42a
A ₁ B ₃	2.30bc	24.60f	36.60c	1.95a	2.01bc	0.20de	10.05b
A ₂ B ₁	2.23cd	28.10bc	39.10ab	1.77cd	1.84e	0.23b	8.00e
A ₂ B ₂	2.07e	29.30b	39.90ab	1.73de	2.12a	0.21cd	10.10b
A ₂ B ₃	2.36ab	27.00cd	38.80ab	1.78cd	2.00bc	0.22bc	9.09c
A ₃ B ₁	2.25cd	26.10de	38.30bc	1.82bc	1.88de	0.25a	7.52f
A ₃ B ₂	2.21d	28.20bc	38.90ab	1.74cde	2.08ab	0.22bc	9.45c
A ₃ B ₃	2.38a	25.50ef	36.50c	1.89ab	1.97cd	0.23b	8.57d
F(A)	112.55**	33.95**	11.58**	14.34**	11.80**	91.20**	261.34**
F(B)	263.96**	164.30**	35.80**	85.60**	124.76**	44.40**	349.39**
F(A×B)	12.62**	21.00**	4.91**	24.58**	2.57	1.2	1.95

量，并且在 A₁B₂ 处理下烟叶化学成分较为协调。
由表 7 可知，在不同钾肥用量和追肥时期处理中，30 和 45 d 分次追施钾肥 50% 的烤烟上部叶总氮和氯含量均低于 1 次追施钾肥处理，烟碱、还原糖、总糖、钾含量和钾氯比均高于 1 次追施钾肥处理，其中 A₁B₂ 处理总氮含量最低，与 A₁B₁ 和 A₁B₃ 处理相比，降低了 18.2%~22.9%，还原糖、总糖、钾含量和钾氯比最高，分别增加了 11.2%~13.3%、5.8%~7.7%、8.8%~12.1%、22.9%~41.3%。除氯含量之外，钾肥用量对上部叶化学成分影响均达到极显著水平，追肥时期、钾肥用量和追肥时期互作对烤烟上部叶化学成分影响均达到极显著水平。结果表

表 7 不同钾肥用量和追肥时期对烤烟上部叶常规化学成分的影响
Table 7 Effects of different potassium fertilizer dosages and topdressing periods on conventional chemical composition of upper leaves of flue-cured tobacco

处理 Treatment	烟碱 Nicotine (%)	还原糖 Reducing sugar (%)	总糖 Total sugar (%)	总氮 Total nitrogen (%)	钾 Potassium (%)	氯 Chlorine (%)	钾氯比 Potassium-chloride ratio
A ₁ B ₁	3.20f	21.00b	27.20c	2.73b	1.65cd	0.29a	5.69e
A ₁ B ₂	3.59d	23.80a	29.30a	2.31e	1.85a	0.23f	8.04a
A ₁ B ₃	3.41e	21.40b	27.70bc	2.84a	1.70bc	0.26cd	6.54c
A ₂ B ₁	3.04g	19.40c	25.10d	2.59c	1.51e	0.28ab	5.39f
A ₂ B ₂	3.89bc	23.10a	28.30b	2.48d	1.73b	0.24ef	7.21b
A ₂ B ₃	3.81c	19.80c	25.50d	2.60c	1.62d	0.27bc	6.00d
A ₃ B ₁	3.47de	19.30c	24.90d	2.79ab	1.32f	0.28ab	4.71g
A ₃ B ₂	4.04a	21.20b	27.40c	2.54cd	1.70bc	0.25de	6.80c
A ₃ B ₃	3.96ab	19.60c	25.30d	2.86a	1.61d	0.27bc	5.96d
F(A)	166.76**	76.08**	182.99**	52.64**	110.46**	3.60	244.67**
F(B)	379.88**	166.17**	261.44**	203.27**	216.04**	154.80**	1218.38**
F(A×B)	27.80**	6.13**	5.07**	26.41**	17.64**	7.20**	17.79**

明对于上部叶来讲，随着烤烟后期钾肥追施量的增加，烟叶烟碱含量增加，分次追施钾肥能提高烟叶烟碱、还原糖、总糖、钾含量和钾氯比，降低总氮和氯含量，并且 A₁B₂ 处理烟叶化学成分较为协调。
2.6 不同钾肥追肥时期对烤烟中部叶中性致香物质含量的影响
综合上述指标，选择表现较好的 A₁ 处理中部叶进行中性致香物质含量的测定。由表 8 可知，30

和 45 d 分次追施钾肥 50%处理中，除非酶棕色化反应产物含量外，其余类型中性致香物质含量均最高，且差异显著；从中性致香物质总量来看，分次追施钾肥相比于 1 次追施钾肥 100%处理，高出 11.1%~14.7%，表明分次追施钾肥有利于中性致香物质含量的生成。

表 8 不同钾肥追肥时期对烤烟中部叶中性致香物质含量的影响
Table 8 Effects of different potassium topdressing periods on the content of neutral fragrance-causing substances in the middle leaves of flue-cured tobacco

类型 Type	致香成分 Aroma component	处理 Treatment			mg/g
		A ₁ B ₁	A ₁ B ₂	A ₁ B ₃	
芳香族氨基酸降解产物 Aromatic amino acid degradation product	苯甲醇	4.98	6.91	4.43	
	苯乙醛	0.94	3.48	1.96	
	苯乙醇	1.70	2.70	1.67	
	小计	7.62b	13.09a	8.06b	
非酶棕色化反应产物 Non-enzymatic browning reaction product	糠醛	15.10	14.57	15.92	
	糠醇	1.61	1.81	1.17	
	3, 4-二甲基-2,5-呋喃二酮	0.35	0.35	0.32	
	5-甲基糠醛	0.41	0.36	0.29	
	2, 6-壬二烯醛	1.29	1.15	—	
	小计	18.76a	18.24b	17.70c	
	类胡萝卜素降解产物 Carotenoid degradation product				
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.67	0.93	0.71	
	6-甲基-5-庚烯-2-醇	0.27	0.39	0.31	
	愈创木酚	1.63	1.98	1.53	
	芳樟醇	0.52	0.51	0.52	
	β-大马酮	17.80	20.94	18.65	
	β-二氢大马酮	4.43	11.33	8.78	
	香叶基丙酮	1.30	1.83	1.59	
	二氢猕猴桃内酯	1.01	0.78	0.63	
	3-羟基-β-二氢大马酮	1.12	1.49	1.20	
	巨豆三烯酮 1	0.55	0.76	0.58	
	巨豆三烯酮 2	3.70	3.84	3.25	
	巨豆三烯酮 3	1.41	1.14	1.04	
	巨豆三烯酮 4	3.64	4.73	4.02	
	螺岩兰草酮	0.29	0.35	—	
	法尼基丙酮	6.46	8.41	7.33	
	小计	44.80c	59.41a	50.14b	
	西柏烷类降解产物 Sicybane degradation product				
	茄酮	16.30	17.44	17.22	
	叶绿素降解产物 Chlorophyll degradation product				
	新植二烯	721.44	819.45	741.62	
总量 Total		808.92c	927.63a	834.74b	

2.7 不同钾肥用量和追肥时期对烤烟感官质量的影响

由表 9 可知，在不同钾肥用量和追肥时期处理中，烤烟中部 30 和 45 d 分次追施钾肥 50%的香气质、香气量、浓度、劲头和燃烧性均高于 1 次追施钾肥处理，杂气、刺激性无显著差异，其中 A₁B₂处理的感官质量总分最高。除杂气和劲头外，钾肥用量对烤烟中部叶感官质量影响均达到极显著水平，追肥时期除浓度和刺激性外，对其余感官质量影响均达到极显著水平，钾肥用量和追肥时期互作对中部叶感官质量无显著影响。以上表明分次追施钾肥能改善中部烟叶感官质量，其中 A₁B₂处理烟

叶感官质量评价最优，其香气质较好，香气量充足，香气浓度大，劲头适中，燃烧性好。

由表 10 可知，在不同钾肥用量和追肥时期处理中，30 和 45 d 分次追施钾肥 50%的烤烟上部叶香气质、香气量、劲头和燃烧性均高于 1 次追施钾肥处理，杂气均低于 1 次追施钾肥处理，且差异显著，浓度和余味无显著差异，其中 A₁B₂处理的感官质量总分最高。钾肥用量对烤烟上部叶刺激性影响达到极显著水平，追肥时期对烤烟上部叶香气质、杂气、劲头和刺激性影响均达到极显著水平，钾肥用量和追肥时期互作对上部叶感官质量无显著影响。以上表明分次追施钾肥能改善上部烟叶感

表 9 不同钾肥用量和追肥时期对烤烟中部叶感官质量的影响
Table 9 Effects of different potassium fertilizer dosages and topdressing periods on sensory quality of middle leaves of flue-cured tobacco

处理 Treatment	香气质 Aroma quality (9-0)	香气量 Aroma quantity (9-0)	浓度 Concen-tration (9-0)	杂气 Offensive odor (9-0)	劲头 Stiffness (9-0)	刺激性 Irritancy (9-0)	余味 After taste (9-0)	燃烧性 Flammability (9-0)	总分 Total points
A ₁ B ₁	6.80ab	6.50ab	6.50ab	6.60a	5.50b	6.70a	6.70ab	8.40ab	53.70a
A ₁ B ₂	7.00a	6.60a	6.60a	6.50a	5.70ab	6.80a	6.80a	8.50a	54.50a
A ₁ B ₃	6.90a	6.40bc	6.50ab	6.60a	5.60ab	6.70a	6.80a	8.40ab	53.90a
A ₂ B ₁	6.50cd	6.30cd	6.30b	6.70a	5.60ab	6.50a	6.50b	8.00c	52.40a
A ₂ B ₂	6.80ab	6.50ab	6.50ab	6.50a	5.70ab	6.70a	6.70ab	8.20bc	53.60a
A ₂ B ₃	6.60bc	6.40bc	6.40ab	6.60a	5.60ab	6.60a	6.70ab	8.00c	52.90a
A ₃ B ₁	6.30d	6.20d	6.30b	6.70a	5.60ab	6.50a	6.50b	8.00c	52.10a
A ₃ B ₂	6.50cd	6.30cd	6.40ab	6.50a	5.80a	6.60a	6.60ab	8.10c	52.80a
A ₃ B ₃	6.40cd	6.20d	6.30b	6.60a	5.70ab	6.50a	6.60ab	8.00c	52.30a
F(A)	77.69**	44.10**	10.83**	0.35	3.10	8.54**	15.11**	64.73**	8.43**
F(B)	17.01**	14.40**	5.03*	6.70**	8.41**	3.97*	8.64**	7.79**	2.57
F(A×B)	0.46	2.25	0.39	0.35	0.44	0.31	0.54	0.49	0.08

表 10 不同钾肥用量和追肥时期对烤烟上部叶感官质量的影响
Table 10 Effects of different potassium dosages and topdressing periods on sensory quality of upper leaves of flue-cured tobacco

处理 Treatment	香气质 Aroma quality (9-0)	香气量 Aroma quantity (9-0)	浓度 Concen-tration (9-0)	杂气 Offensive odor (9-0)	劲头 Stiffness (9-0)	刺激性 Irritancy (9-0)	余味 After taste (9-0)	燃烧性 Flammability (9-0)	总分 Total points
A ₁ B ₁	6.30ab	6.50ab	6.50a	6.40ab	6.10ab	6.20bc	6.20a	8.30ab	52.50ab
A ₁ B ₂	6.50a	6.60a	6.60a	6.20b	6.20a	6.50a	6.40a	8.50a	53.50a
A ₁ B ₃	6.30ab	6.50ab	6.50a	6.30ab	6.00b	6.50a	6.40a	8.40ab	52.90ab
A ₂ B ₁	6.30ab	6.30b	6.30a	6.50a	6.10ab	6.30ab	6.20a	8.30ab	52.30ab
A ₂ B ₂	6.40ab	6.50ab	6.50a	6.30ab	6.20a	6.40ab	6.30a	8.40ab	53.00ab
A ₂ B ₃	6.30ab	6.40ab	6.40a	6.40ab	6.10ab	6.40ab	6.30a	8.30ab	52.60ab
A ₃ B ₁	6.20b	6.40ab	6.30a	6.40ab	6.00b	6.00c	6.10a	8.10b	51.50b
A ₃ B ₂	6.40ab	6.50ab	6.50a	6.30ab	6.10ab	6.30ab	6.30a	8.30ab	52.70ab
A ₃ B ₃	6.30ab	6.40ab	6.40a	6.40ab	6.00b	6.30ab	6.30a	8.20ab	52.30ab
F(A)	1.07	4.27*	3.61	3.08	5.52*	12.32**	1.73	5.26*	2.37
F(B)	7.51**	4.27*	4.29*	8.36**	10.26**	19.48**	6.18*	3.57	3.43
F(A×B)	0.54	0.33	0.23	0.44	0.79	1.59	0.25	0.19	0.12

官质量，其中 A₁B₂ 处理烟叶感官质量评价最优。

3 讨论

研究^[9]发现，分次追施钾肥能显著提高烟株中上部叶长、叶宽和叶面积，使其化学成分协调，感官质量及产量、质量较好。这可能是因为：第一，分期追施钾肥可以增强烟株后期根系活力，有利于烟株均衡利用土壤养分，提高光合速率，增加干物质积累^[10]；第二，烟叶对钾肥的需求高峰在烟株生长后期，而后期分次追施钾肥刚好可以提供烟株生长对钾素的需求^[11]；第三，烟株后期补充钾素可抑制烟株钾素回流，保证糖的运输及合理分配，可为烟叶变黄提供条件^[12]，烟株适时落黄成熟，进而提高了烤烟品质和产量^[13]；第四，烟株选择 K₂SO₄ 进行后期追肥，K₂SO₄ 作为速效性钾肥，分次追施能

更快并及时提供烟株生长对钾素的需求，并且分次追施 K₂SO₄ 能提高中上部烟叶还原糖和总糖含量，达优质烤烟所要求的含量范围^[14]。在本研究中，随着钾肥追施量的增加，烟叶钾含量和产量、质量出现了下降的趋势。这可能是因为随着钾肥用量的增加，烟叶中含钾量增加的速度将有所下降，适当增加 K₂SO₄ 用量可以提高烟叶钾含量和产量，但过多施用会显著增加烟叶硫含量，当供钾浓度过高时，烟株生长会受到明显的抑制，猜想是 SO₄²⁻ 的富集对烤烟产生了毒害作用，从而降低了烟叶品质^[15-17]。并且过多施用钾肥会造成钾肥的损失^[18]。其次，大量施用钾肥引起 K-N、K-Mg 离子间的拮抗作用，从而影响烟株体内氮代谢，也可能是影响烟叶产量的另一个重要原因^[19]。因此，不能一味地增加施钾量来提高烟叶钾含量、产量和质量，应合理施用。

4 结论

试验结果表明, 烤烟选择 A₁B₂ 处理烟株大田长势好, 化学成分协调, 感官质量及产量、质量较好, 成本投入减少, 经济收入增加。

参考文献

- [1] 陈剑秋, 万连步, 解玉洪, 等. 包膜控释肥对烤烟烟叶钾含量的影响. 中国烟草学报, 2008, 14(3): 40-45.
- [2] 沈方科, 李婷, 王蕾, 等. 钾素营养对烟株氮代谢及烟叶品质形成的影响. 中国农学通报, 2010, 26(9): 214-219.
- [3] 颜合洪, 胡雪平, 张锦韬, 等. 不同施钾水平对烤烟生长和品质的影响. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2005, 31(1): 20-23.
- [4] 王志愿, 姜清治, 霍沁建. 烟草黑胫病的研究进展. 中国农学通报, 2010, 26(21): 250-255.
- [5] 杨海燕, 张金峰, 沙雪康, 等. 烤烟红花大金元“两黑一青”病的预防及补救措施. 现代农业科技, 2018, 715(5): 113-114.
- [6] 全国烟草标准化技术委员会农业分技术委员会. 烟草农艺性状调查方法: YC/T 142-2010. 北京: 国家烟草专卖局, 2010.
- [7] 中华人民共和国国家标准. 烤烟: GB/T 2635-1992. 北京: 中国标准出版社, 1992.
- [8] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品标准体系: YC/Z 240-2008. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [9] 毛家伟, 翟文汇, 孙大为, 等. 覆盖方式和钾施用量对烤烟生长、叶绿素含量及产质量的影响. 河南农业科学, 2015, 44(3): 36-39.
- [10] 王同朝, 刘作新, 高致明, 等. 分期追施钾肥对烤烟生长和品质的影响. 河南农业大学学报, 2002, 36(4): 348-351.
- [11] 罗建新, 肖汉乾, 彭建伟, 等. 施钾方法对土壤供钾能力及烤烟钾累积的影响. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2000, 26(5): 352-354.
- [12] 祖艳群, 林克惠. 氮、钾营养对烤烟品质的影响. 土壤通报, 2002, 33(6): 417-420.
- [13] 赵铭钦, 刘金霞, 刘国顺, 等. 不同成垄方式及分次施钾对烤烟品质的影响. 河南农业大学学报, 2007, 41(1): 15-20.
- [14] 蒋寿安, 续勇波, 刘晓冰. 叶面喷施不同钾肥对烤烟产质量的影响. 中国农学通报, 2020, 36(5): 42-45.
- [15] 周冀衡. K⁺与相伴阴离子 SO₄²⁻、Cl⁻对烟草生长和有关生理代谢的影响. 中国烟草学报, 1994, 2(2): 46-53.
- [16] 杨波, 吴元华, 董建新, 等. 不同硫酸钾用量对烤烟氮、钾、硫吸收的影响. 江苏农业科学, 2015, 43(4): 116-119.
- [17] 曹志洪, 胡国松, 周秀如, 等. 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. 土壤, 1993(3): 119-122, 128.
- [18] 程辉斗, 温永琴, 陆富, 等. 土壤供钾水平与云南烤烟含钾量关系的研究. 烟草科技, 2000(3): 41-43.
- [19] 林克惠, 战以时, 李永梅. 不同施钾量对烤烟烟叶品质的影响. 云南农业大学学报, 1994, 9(2): 112-118.

Effects of Potassium Fertilizer Dosage and Topdressing Period on Chemical Composition, Yield and Quality of Leaves of Black Shank-Resistant Tobacco Honghuadajinyuan

Xia Yulan¹, Wang Dexun², Zhao Yuanyuan¹, Fan Zhiyong²,
Li Juan², Wang Ge¹, Zhao Zhihao¹, Shi Hongzhi¹

(¹College of Tobacco, Henan Agricultural University/Research Center of Tobacco Agriculture Harm Reduction/
Key Laboratory of Tobacco Cultivation in the Tobacco Industry, Zhengzhou 450046, Henan, China;
²Yunnan Tobacco Company Dali Prefecture Company, Dali 671000, Yunnan, China)

Abstract In order to explore the potassium fertilizer application technology of new flue-cured tobacco varieties resistant to black shank, Honghuadajinyuan resistant to black shank disease was used as the material, and a field experiment of potassium fertilizer dosage and topdressing period in Dali, Yunnan province was set up to study the effects of different treatments on the chemical composition, yield and quality of tobacco leaves. The results showed that compared with single topdressing, the leaf length of the middle leaf in fractional topdressing increased by 3.2%-5.3%, the leaf width increased by 6.9%-12.0%, and the potassium and potassium-chlorine ratios increased by 8.0%-11.3% and 13.6%-22.9%, respectively. The upper leaf length increased by 3.2%-5.9%, the leaf width increased by 9.6%-10.8%, and the potassium and potassium-chlorine ratios increased by 8.8%-12.1% and 22.9%-41.3%, respectively. From the perspective of economic characteristics, the yield of topdressed potassium fertilizer increased by 8.1%-14.0%, the output value increased by 12.6%-21.8%, the average price increased by 4.1%-6.9%, and the proportion of medium and upper-grade tobacco increased by 4.4%-7.0%. In summary, the tobacco plant had a good field growth, coordinated chemical composition, and good sensory quality and yield with the treatment of 217.50 kg/ha potassium fertilizer dosage, 50% each on applying the 30th and 45th day after transplanting.

Key words Black shank-resistant; Honghuadajinyuan; Potassium fertilizer dosage; Topdressing period; Chemical composition; Yield; Quality