

## 施氮量与留叶数对晒红烟化学成分和 TSNAs 的影响

郑昕<sup>1</sup>, 史宏志<sup>1</sup>, 杨兴有<sup>2</sup>, 杨吉光<sup>2</sup>, 李晶晶<sup>1</sup>, 杨惠娟<sup>1</sup>

(1. 河南农业大学烟草行业烟草栽培重点实验室/烟草农业减害研究中心, 河南 郑州 450002; 2. 达州市烟草公司, 四川 达州 635000)

**摘要:** 采用裂区设计, 研究施纯氮量(195 kg/hm<sup>2</sup>(低氮)、225 kg/hm<sup>2</sup>(中氮)、255 kg/hm<sup>2</sup>(高氮))与留叶数(14、16、18、20 片/株)及其互作对万源晒红烟‘万毛 3 号’化学成分和 TSNAs 的影响。结果表明: 中、高氮处理烟叶总氮含量较低氮处理分别提高 6.1%、15.6%, 烟碱含量分别提高 13.3%、39.0%, 钾含量分别提高 6.2%、12.9%, 硝酸盐含量分别提高 9.3%、19.7%, 总糖含量分别降低 16.1%、29.9%; 留叶 16、18、20 片/株处理烟叶总糖含量, 较 14 片/株处理分别提高 9.4%、28.4%、31.6%; 钾含量分别提高 10.2%、12.8%、20.6%, 总氮含量分别降低 4.5%、9.5%、12.4%, 烟碱含量分别降低 7.1%、18.2%、21.9%; 施氮量的增加与留叶数的减少, 都使 TSNAs 含量显著上升; 施氮量和留叶数互作对‘万毛 3 号’的化学成分和 TSNAs 含量均有极显著影响。综合分析, 施氮量对烟碱、钾和 TSNAs 及前体物含量的影响较大; 留叶数对糖分、氮碱比的影响较大; 对‘万毛 3 号’施氮 225 kg/hm<sup>2</sup>、留叶 16 片/株处理, 烟叶化学成分较为协调。

**关键词:** 晒红烟; 施氮量; 留叶数; 化学成分; 烟草特有亚硝胺

中图分类号: S572.01 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2018)01-0026-07

## Effects of nitrogen rates and numbers of leaves remained on chemical composition and TSNAs of sun-cured red tobacco

ZHENG Xin<sup>1</sup>, SHI Hongzhi<sup>1</sup>, YANG Xingyou<sup>2</sup>, YANG Jiguang<sup>2</sup>, LI Jingjing<sup>1</sup>, YANG Huijuan<sup>1</sup>

(1. Tobacco Cultivation Key Laboratory of Tobacco Industry/Tobacco Harm Reduction Center, Zhengzhou, Henan 450002, China; 2. Dazhou Tobacco Company of Sichuan, Dazhou, Sichuan 635000, China)

**Abstract:** Split-plot design was used to investigate the influence of nitrogen rates (low-nitrogen about 195 kg/hm<sup>2</sup>, medium-nitrogen about 225 kg/hm<sup>2</sup>, high-nitrogen about 255 kg/hm<sup>2</sup>), numbers of remained leaves (14, or 16, or 28, or 20 leaves each tobacco) and their interaction on the chemical constituents and TSNAs of sun-cured red tobacco Wanmao No.3. Results showed that compared to low-nitrogen treatment, the total nitrogen content in medium-nitrogen and high-nitrogen treatment was increased by 6.1% and 16.5%, respectively, the nicotine content was increased by 13.3% and 39.0%, respectively, the K<sup>+</sup> content was increased by 6.2% and 12.9%, respectively, the nitrate content was increased by 9.3% and 19.7%, respectively and the total sugar content was increased by 16.1% and 29.9%, respectively. Compared to treatment with 14 leaves remained, the total sugar content in treatments with 16, 18 and 20 leaves remained was increased by 9.4%, 28.4% and 31.6%, respectively, the K<sup>+</sup> content was increased by 10.2%, 12.8% and 20.6%, respectively, the total nitrogen content was decreased by 4.5%, 9.5% and 12.4%, respectively, the nicotine content was decreased by 7.1%, 18.2% and 21.9%, respectively. Increase in nitrogen rates or reduction in numbers of leaves both resulted in significant increase of TSNAs content. Interaction between nitrogen rates and numbers of leaves has a great influence on chemical constituents and TSNAs content. The nitrogen rates had more significant impact on the nicotine, K, TSNAs, total alkaloid and nitrate content while the numbers of leaves had more significant impact on the sugar content and nitrogen-nicotine ratio. Comprehensive analysis by fuzzy indicated that tobacco leaf's chemical components are coordinate under nitrogen

rates 225 kg/hm<sup>2</sup> and 16 leaves per tobacco plant.

**Keywords:** sun-cured red tobacco; nitrogen rates; numbers of leaves remained; chemical components; TSNA<sub>s</sub>

四川万源晾晒烟栽培历史悠久,风味独特,是生产雪茄烟和混合型卷烟的重要原料。由于缺乏对晾晒烟生产技术的研究和推广,烟农普遍重视提高产量而多施氮肥、多留叶,导致烟叶化学成分协调性差,品质 and 安全性下降。栽培因素是晒烟质量和风格特征形成的关键环节<sup>[1-3]</sup>。烟株的肥料施用、田间管理及生长环境均会影响其生长发育及内在物质的积累和转换,造成烟叶内在成分的差异。氮对烟叶的品质有显著影响,烟叶内在化学组分含量随施氮量的改变呈不同变化趋势<sup>[4-7]</sup>。合理增氮能够协调烟叶内在化学成分;氮肥过量则导致烟叶烟碱含量过高,烟草特有亚硝胺(TSNA<sub>s</sub>)含量升高,品质下降<sup>[8-10]</sup>。适当留叶是调节烟叶营养水平的重要手段,通过改变打顶后烟株营养的分配、供给情况以及通风透光条件,进而影响烟叶的品质<sup>[11]</sup>。研究表明,随留叶数增多,烟叶的总氮、烟碱、钾含量递减,总糖含量增加<sup>[12-13]</sup>。史宏志等<sup>[14]</sup>对白肋烟研究表明,留叶数增加,TSNA<sub>s</sub>的前体物质烟碱等主要生物碱含量降低。

目前,关于施氮量与留叶数及其互作对地方性晒红烟品质和安全性的研究鲜见报道。笔者以四川万源主栽晒红烟品种‘万毛 3 号’为材料,研究不同施氮量与留叶数及其互作对‘万毛 3 号’化学成分、TSNA<sub>s</sub>含量的影响,旨在为优质晒红烟烟叶生产提供依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料

四川万源主栽晒红烟品种‘万毛 3 号’。

### 1.2 试验设计

试验于 2016 年在四川省万源市草坝镇黑池坪村进行。试验地海拔 1 090 m 左右。供试土壤为黄棕壤,土壤肥力中等,有机质含量适中,前茬作物为玉米。

采用双因素裂区试验设计。主区为施纯氮量,设 3 个水平: N<sub>1</sub> 处理,施氮 195 kg/hm<sup>2</sup>; N<sub>2</sub> 处理,施氮 225 kg/hm<sup>2</sup>; N<sub>3</sub> 处理,施氮 255 kg/hm<sup>2</sup>。副区为留叶数,设 4 个水平: L<sub>1</sub> 处理,留叶 14 片/株;

L<sub>2</sub> 处理,留叶 16 片/株; L<sub>3</sub> 处理,留叶 18 片/株; L<sub>4</sub> 处理,留叶 20 片/株。试验共 12 个处理。3 次重复。共 36 个小区。烟叶生产各环节严格按照当地优质烟叶生产技术标准进行。

### 1.3 测定项目及方法

#### 1.3.1 化学成分测定

各处理烟叶调制后,取上、中部叶三级烟叶各 1 kg,40 °C 烘干后磨碎,过 0.25 mm 孔径筛,分别测定总氮<sup>[15]</sup>、总糖<sup>[16]</sup>、还原糖<sup>[16]</sup>、烟碱<sup>[16]</sup>、钾<sup>[16]</sup>和氯<sup>[16]</sup>的含量。

#### 1.3.2 生物碱成分测定

200 mg 烟叶样品在碱性条件下,用甲基叔丁基醚(MTBE)提取生物碱,通过气相色谱-氢火焰离子化检测器(GC-FID)(Agilent 7890A, Agilent Technologies, 美国)定量分析检测其中 4 种生物碱(烟碱、降烟碱、新烟草碱、假木贼碱)的含量。

#### 1.3.3 TSNA<sub>s</sub> 成分测定

称取 1.0 g 烟样,使用在线 SPE-液相色谱质谱联用法<sup>[17]</sup>检测 TSNA<sub>s</sub> 及其组分 NNN、NAT、NAB、NNK 的含量。

### 1.4 数据分析

采用 Excel 2003 与 SPSS 22.0 统计软件进行数据处理。方差分析以及双因素互作效应分析,由 LSD 法分析均值差异的显著性。对烟叶化学成分进行模糊数据分析<sup>[18]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 施氮量和留叶数及其互作对晒红烟化学成分的影响

由表 1、表 2 可知,随着施氮量增加,烟叶的烟碱、总氮和钾含量上升,总糖、还原糖含量和糖碱比、氮碱比降低。施氮 255 kg/hm<sup>2</sup> 时,烟碱、总氮含量显著高于其他处理,氮碱比显著低于其他处理。随着留叶数增多,总糖、还原糖含量和糖碱比、氮碱比升高;烟碱、总氮含量下降。双因素方差分析表明,施氮量、留叶数及其互作对‘万毛 3 号’烟叶

化学成分含量的影响均达到极显著水平。留叶数对协调意义更大,而施氮量对烟碱、钾、氯含量及相应比例的影响较大。

表1 不同施氮量和留叶数处理的上部烟叶的化学成分

施氮量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	株留 叶数/片	总糖/ (mg·g <sup>-1</sup> )	还原糖/ (mg·g <sup>-1</sup> )	烟碱/ (mg·g <sup>-1</sup> )	氯/ (mg·g <sup>-1</sup> )	钾/ (mg·g <sup>-1</sup> )	总氮/ (mg·g <sup>-1</sup> )	糖碱比	氮碱比	钾氯比
195	14	25.9d	22.1d	45.1cd	4.43c	25.1i	29.0c	0.49e	0.64b	5.67f
	16	27.8bc	21.1e	43.9d	4.79a	28.0f	27.4de	0.48e	0.62b	5.84f
	18	29.0b	24.0b	33.4f	4.60b	26.2h	24.8g	0.72b	0.74a	5.70f
	20	33.9a	26.2a	32.7f	4.81a	32.5c	24.2g	0.80a	0.74a	6.76e
225	14	21.3e	18.1g	46.9c	3.49h	27.1g	29.7c	0.39f	0.63b	7.77c
	16	27.4c	20.1f	43.3d	3.92f	29.1e	27.9d	0.46e	0.64b	7.42d
	18	25.5d	23.4bc	37.3e	4.10e	30.6d	26.6de	0.63d	0.71a	7.46d
	20	27.6bc	23.0cd	36.6e	4.51bc	33.7b	25.9f	0.66c	0.71a	7.47d
255	14	21.7f	14.6i	56.5a	3.54h	28.8e	32.7a	0.27i	0.58c	8.35a
	16	23.3e	15.2hi	51.2b	3.72g	31.1d	31.7b	0.30h	0.62b	8.36a
	18	23.7e	16.0h	47.2c	4.22d	32.1c	29.9c	0.34g	0.63b	7.61cd
	20	24.9d	19.5f	42.8d	4.51bc	36.1a	27.8d	0.46e	0.65b	8.01b
<i>F</i> (施氮量)		14.25**	36.42**	59.43**	103.33**	46.64**	146.05**	19.79**	87.25**	110.32**
<i>F</i> (留叶数)		31.80**	173.84**	13.31**	31.89**	34.23**	218.89**	117.65**	66.16**	21.10**
<i>F</i> (互作)		7.84**	14.38**	24.67**	10.04**	7.82**	4.79**	6.23**	6.28**	33.32**

同列不同小写字母表示差异具有统计学意义( $P < 0.05$ ); 同列数据后标有\*代表相关性具有统计学意义( $P < 0.05$ ); 同列数据后标有\*\*代表相关性具有高度统计学意义( $P < 0.01$ )。

表2 不同施氮量和留叶数处理的中部烟叶的化学成分

施氮量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	株留 叶数/片	总糖/ (mg·g <sup>-1</sup> )	还原糖/ (mg·g <sup>-1</sup> )	烟碱/ (mg·g <sup>-1</sup> )	氯/ (mg·g <sup>-1</sup> )	钾/ (mg·g <sup>-1</sup> )	总氮/ (mg·g <sup>-1</sup> )	糖碱比	氮碱比	钾氯比
195	14	31.8e	24.6e	31.1f	4.22c	24.3f	22.5ef	0.79e	0.72b	5.76f
	16	36.2d	32.6c	29.0g	4.52b	28.6cd	21.3h	1.12c	0.73b	6.33e
	18	44.7a	37.9a	26.1h	4.68a	29.2c	21.2h	1.45a	0.81a	6.24e
	20	40.5b	34.2b	25.5h	4.60ab	28.4d	20.2i	1.34b	0.79a	6.17e
225	14	23.5h	16.0h	37.6d	3.61e	26.2e	23.7c	0.43f	0.63d	7.26d
	16	23.6h	16.2h	34.0e	3.73d	28.8cd	22.9de	0.48f	0.67c	7.72c
	18	39.4bc	26.9d	31.6e	4.06d	30.1b	22.2g	0.81d	0.71b	7.41d
	20	38.2c	26.6d	31.3ef	4.11c	30.5b	22.5ef	0.84d	0.71b	7.42d
255	14	21.8i	14.3i	49.2a	3.62e	28.4d	26.5a	0.29g	0.54g	7.85c
	16	21.5i	18.0g	42.6b	3.63e	30.6b	24.7b	0.42f	0.58ef	8.43a
	18	25.1g	18.3g	42.2b	3.92d	32.2a	23.8c	0.47f	0.56f	8.21b
	20	27.0f	21.5f	39.2c	3.81d	31.6a	23.2cd	0.55f	0.59e	8.29ab
<i>F</i> (施氮量)		14.82**	67.05**	71.12**	132.02**	187.11**	53.12**	21.38**	109.08**	136.35**
<i>F</i> (留叶数)		20.28**	80.30**	49.64**	42.80**	65.03**	70.55**	96.16**	90.69**	20.45**
<i>F</i> (互作)		6.03**	29.33**	22.64**	36.63**	14.61**	5.25**	21.37**	12.83**	17.20**

同列不同小写字母表示差异具有统计学意义( $P < 0.05$ ); 同列数据后标有\*代表相关性具有统计学意义( $P < 0.05$ ); 同列数据后标有\*\*代表相关性具有高度统计学意义( $P < 0.01$ )。

## 2.2 施氮量和留叶数及其互作对晒红烟 TSNA<sub>s</sub> 含量的影响

由表3可知,‘万毛3号’烟叶 TSNA<sub>s</sub> 含量分布在 178.56~904.69 ng/g, 上部叶 TSNA<sub>s</sub> 含量高于中部叶。随施氮量的增加和留叶数的减少, TSNA<sub>s</sub> 含

量呈上升趋势。高施氮水平处理的上、中部烟叶 TSNA<sub>s</sub> 平均含量比低施氮水平处理分别升高 117.7%和 76.0%; 留叶 14 片处理的上、中部烟叶平均 TSNA<sub>s</sub> 含量比留叶 20 片分别升高 45.1%和 48.3%。双因素方差分析表明, 施氮量、留叶数及

其互作对 TSNAs 总量及各组分含量的影响均达到极显著水平,施氮量对 TSNAs 总量及各组分含量的影响更加显著。

表3 不同施氮量和留叶数处理的上部烟叶的TSNAs及其组分含量

**Table 3 TSNAs of upper tobacco leaves treated with different nitrogen and different number of remained leaves**

施氮量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	株留叶数/片	含量/(ng·g <sup>-1</sup> )				
		NNN	NAT	NAB	NNK	TSNAs
195	14	308.60f	47.39h	0.26fg	31.16j	387.41g
	16	281.40gh	33.47j	0.31ef	36.05i	351.23h
	18	257.90i	39.86i	0.23g	41.08h	339.07h
	20	144.10j	45.59h	0.34de	50.60g	240.63i
225	14	334.60e	83.97d	0.24g	54.85f	473.66e
	16	289.20g	68.41f	0.15h	58.49e	416.25f
	18	271.50h	53.55g	0.19h	65.35d	390.59g
	20	254.50i	49.32gh	0.40d	54.73f	358.95h
255	14	607.20a	176.65a	2.50a	118.34a	904.69a
	16	475.50b	169.54b	1.32c	52.30g	698.66b
	18	447.90c	140.98c	1.71b	79.06b	669.65c
	20	371.10d	79.36e	1.33c	75.65c	527.44d
<i>F</i> (施氮量)		130.93**	88.93**	12.83**	51.74**	24.73**
<i>F</i> (留叶数)		10.01**	12.62**	19.33**	8.33**	6.54**
<i>F</i> (互作)		16.67**	27.59**	25.04**	8.36**	6.21**

同列不同小写字母表示差异具有统计学意义( $P < 0.05$ ); 同列数据后标有“\*”代表相关性具有统计学意义( $P < 0.05$ ); 同列数据后标有“\*\*”代表相关性具有高度统计学意义( $P < 0.01$ )。

表4 不同施氮量和留叶数处理的中部烟叶的TSNAs及其组分含量

**Table 4 TSNAs of middle tobacco leaves treated with different nitrogen and different number of remained leaves**

施氮量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	留叶数/片	含量/(ng·g <sup>-1</sup> )				
		NNN	NAT	NAB	NNK	TSNAs
195	14	247.95g	42.42h	0.42cd	69.94c	360.73f
	16	214.03i	53.77f	1.25b	70.14c	339.19g
	18	175.15j	35.57i	0.18g	43.72g	254.62i
	20	129.56k	22.23j	0.19g	26.58j	178.56j
225	14	312.62d	79.65b	0.23fg	72.64b	465.14cd
	16	286.33e	58.97de	0.21fg	52.05e	397.45e
	18	259.50f	61.59c	0.26f	48.68f	370.03f
	20	230.46h	47.17g	0.34e	33.95i	311.92h
255	14	411.82a	100.70a	1.65a	75.35a	589.52a
	16	382.56b	60.62cd	0.44c	52.48e	496.10b
	18	357.71c	56.81e	0.41cd	66.83d	481.76bc
	20	358.72c	48.87g	0.37de	40.98h	448.94d
<i>F</i> (施氮量)		85.88**	41.80**	17.57**	46.88**	37.24**
<i>F</i> (留叶数)		21.63**	37.47**	10.65**	29.16**	17.61**
<i>F</i> (互作)		11.90**	14.78**	13.74**	9.53**	7.46**

同列不同小写字母表示差异具有统计学意义( $P < 0.05$ ); 同列数据后标有“\*”代表相关性具有统计学意义( $P < 0.05$ ); 同列数据后标有“\*\*”代表相关性具有高度统计学意义( $P < 0.01$ )。

### 2.3 施氮量和留叶数及其互作对 TSNAs 前体物含量的影响

由表 5、表 6 可知,‘万毛 3 号’烟叶生物碱总量、

硝酸盐含量分别分布在 28.5~62.2 mg/g、453.99~840.08 μg/g,生物碱总量、硝酸盐含量均表现为上部叶高于中部叶。随施氮量的增加和留叶数的少,

生物碱总量、硝酸盐含量均呈上升趋势；高施氮处理，上、中部叶生物碱总量比低施氮处理分别增长25.2%和52.2%，硝酸盐含量分别增长19.9%和19.5%；留叶14片时，上、中部叶生物碱总量比留叶20片时分别高29.8%和24.5%，硝酸盐含量分别

高23.7%和16.1%。施氮量、留叶数均对生物碱总量、硝酸盐含量的影响达到极显著水平；互作效应对假木贼碱含量影响不显著，对生物碱其余组分及总量、硝酸盐含量影响均达到极显著水平。

表5 不同施氮量和留叶数处理的上部烟叶的TSNAs前体物含量

**Table 5 TSNAs' precursor of upper tobacco leaves treated with different nitrogen and different number of remained leaves**

施氮量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	株留叶数/片	烟碱/ (mg·g <sup>-1</sup> )	降烟碱/ (mg·g <sup>-1</sup> )	假木贼碱/ (mg·g <sup>-1</sup> )	新烟草碱/ (mg·g <sup>-1</sup> )	生物碱总量/ (mg·g <sup>-1</sup> )	硝酸盐/ (μg·g <sup>-1</sup> )
195	14	45.1cd	1.05de	0.24d	1.99fg	48.38c	649.47d
	16	43.9d	0.72ef	0.24d	2.07ef	46.93c	582.16f
	18	33.4f	0.91e	0.31a	3.36a	37.98d	594.08ef
	20	32.7f	0.72ef	0.30ab	2.36d	36.08d	532.37g
225	14	46.9c	1.45bc	0.25d	2.48cd	51.08bc	699.99b
	16	43.3d	0.87ef	0.24d	2.29de	46.70c	597.58ef
	18	37.3e	0.68f	0.25d	1.84g	40.07d	608.10e
	20	36.6e	0.92e	0.25d	1.29h	39.06d	638.25d
255	14	56.5a	2.47a	0.29bc	2.94b	62.20a	840.08a
	16	51.2b	1.24cd	0.29bc	2.68c	55.41b	675.41c
	18	47.2c	1.10cd	0.28c	2.63c	51.21bc	712.58b
	20	42.8d	1.65b	0.31a	3.33a	48.09c	599.69ef
<i>F</i> (施氮量)		59.43**	7.24*	3.01	19.28**	43.13**	149.50**
<i>F</i> (留叶数)		15.86**	16.70**	4.12*	3.74*	10.29**	27.42**
<i>F</i> (互作)		18.44**	13.83**	2.13	15.94**	22.08**	14.42**

同列不同小写字母表示差异具有统计学意义( $P < 0.05$ )，同列数据后标有\*代表相关性具有统计学意义( $P < 0.05$ )，同列数据后标有\*\*代表相关性具有高度统计学意义( $P < 0.01$ )。

表6 不同施氮量和留叶数处理的中部烟叶的TSNAs前体物含量

**Table 6 TSNAs' precursor of middle tobacco leaves treated with different nitrogen and different number of remained leaves**

施氮量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	株留叶数/片	烟碱/ (mg·g <sup>-1</sup> )	降烟碱/ (mg·g <sup>-1</sup> )	假木贼碱/ (mg·g <sup>-1</sup> )	新烟草碱/ (mg·g <sup>-1</sup> )	生物碱总量/ (mg·g <sup>-1</sup> )	硝酸盐/ (μg·g <sup>-1</sup> )
195	14	31.1f	1.11ab	0.23c	2.35bc	34.79f	615.81d
	16	29.0g	0.84cd	0.21de	1.96e	32.01g	556.21g
	18	26.1h	0.75de	0.21de	1.92e	28.98gh	565.33g
	20	25.5h	0.74de	0.20e	2.01de	28.45h	453.99h
225	14	37.6d	1.33a	0.24bc	2.39b	41.56d	642.46c
	16	34.0e	0.65e	0.25ab	2.18cd	37.08e	582.86f
	18	31.6e	0.76e	0.24bc	2.19cd	34.79f	601.09e
	20	30.3f	0.86bc	0.21de	1.92e	33.29f	602.49e
255	14	49.2a	1.88bc	0.25ab	2.66a	53.99a	690.84a
	16	42.6b	0.81cd	0.26a	2.65a	46.32b	645.96c
	18	42.2b	1.02bc	0.25ab	2.53ab	46.00bc	659.29b
	20	39.2c	0.85cd	0.24bc	2.63a	42.92cd	622.82d
<i>F</i> (施氮量)		71.12**	6.50*	3.19	16.69*	12.90**	277.54**
<i>F</i> (留叶数)		23.43**	30.53**	3.83*	21.89**	8.17**	189.99**
<i>F</i> (互作)		19.28**	12.59**	1.08	7.29**	5.59**	29.43**

同列不同小写字母表示差异具有统计学意义( $P < 0.05$ )；同列数据后标有\*\*代表相关性具有统计学意义( $P < 0.05$ )；同列数据后标有\*\*代表相关性具有高度统计学意义( $P < 0.01$ )。

2.4 不同施氮量和留叶数处理的晒红烟化学成分的模糊综合评价  
以总糖、还原糖、烟碱、钾、氯、总氮、糖碱

比、氮碱比、钾氯比9个指标作为评判因素集，对总糖、还原糖、烟碱、钾、氯和总氮6个指标，都赋予13.33%的权重，糖碱比、氮碱比和钾氯比都赋

予 6.67% 的权重,并分别赋予每个指标 10 分,得分越高,则品质越好。

建立各指标相应的隶属函数。

$$S_{ij} = 10 \times \left\{ 1 - \frac{|P_j - X_{ij}|}{\sum_{i=1}^n |P_j - X_{ij}|} \right\}。$$

式中： $S_{ij}$  为第  $i$  类别第  $j$  指标的得分； $P_j$  为第  $j$  指标最适宜含量； $X_{ij}$  为第  $i$  类别第  $j$  指标的平均数； $n$  为类别总数。

$$\text{总分 } TS = \sum_{j=1}^m S_{ij} \times N_j。$$

式中： $N_j$  为第  $j$  指标的权重； $m$  为指标总数。

由表 7 可以看出,施氮 225 kg/hm<sup>2</sup>、留叶 16 片/株处理,烟叶化学成分的得分最高,为 9.43 分,表明该处理的烟叶化学成分的协调性优于其他处理,烟叶品质较好。

表7 不同施氮量和留叶数处理的烟叶化学成分的综合评分

施氮量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	株留叶数/ 片	总糖	还原糖	烟碱	氯	钾	总氮	糖碱比	氮碱比	钾氯比	总分
195	14	9.18	9.15	9.24	8.84	8.67	9.11	9.50	9.20	8.42	9.03
	16	8.74	8.59	9.36	7.98	9.14	9.44	10.00	9.19	8.22	8.93
	18	8.06	7.93	9.87	8.48	9.42	9.76	9.11	9.44	8.86	8.96
	20	8.02	8.05	9.92	8.25	9.54	9.95	9.16	9.42	8.71	8.98
225	14	9.72	9.85	8.92	9.80	8.42	8.88	8.79	9.08	8.95	9.20
	16	9.75	9.98	9.19	9.71	9.08	9.19	8.98	9.14	9.55	9.43
	18	8.88	8.86	9.51	9.73	8.81	9.43	9.75	9.28	9.30	9.25
	20	8.81	8.92	9.55	9.01	9.46	9.48	9.84	9.28	9.28	9.26
255	14	9.63	9.48	8.12	10.00	8.72	8.20	8.39	8.91	9.67	9.02
	16	9.58	9.73	8.57	9.85	9.37	8.53	8.62	9.01	10.00	9.26
	18	9.74	9.86	8.74	9.24	9.42	8.85	8.77	8.99	9.37	9.25
	20	9.39	9.60	9.02	9.10	10.00	9.17	9.08	9.06	9.95	9.38

### 2.5 烟叶 TSNAs 含量与生物碱、硝酸盐含量的相关性

相关分析结果(表 8)表明,调制后烟叶 TSNAs 含量与生物碱、硝酸盐含量呈极显著正相关关系,上部叶 TSNAs 含量与总生物碱、硝酸盐含量的相关系数分别为 0.90 和 0.81,中部叶的为 0.88 和 0.96,表明烟叶 TSNAs 含量与生物碱总量、硝酸盐含量

均有较大关系。NNN 含量均与烟碱、降烟碱含量呈极显著正相关关系,NNK 含量与其前体物烟碱含量及硝酸盐含量呈显著正相关关系。NAT、NAB 含量与硝酸盐含量的相关性分别大于各自前体物新烟草碱和假木贼碱的相关性,硝酸盐含量对于二者的合成与积累有至关重要的推动作用。

表8 TSNAs含量与生物碱和硝酸盐含量的相关系数

部位	TSNAs 组成	相关系数					
		烟碱	降烟碱	假木贼碱	新烟草碱	总量	硝酸盐
上部	NNN	0.89**	0.78**	0.31	0.44	0.87**	0.95**
	NAT	0.81**	0.67*	0.20	0.36	0.79**	0.82**
	NAB	0.80**	0.84**	0.43	0.62*	0.83**	0.73**
	NNK	0.63*	0.89**	0.37	0.42	0.64*	0.64*
	TSNAs	0.88**	0.82**	0.40	0.42	0.90**	0.81**
中部	NNN	0.88**	0.83**	0.51	0.54	0.97**	0.82**
	NAT	0.79**	0.83**	0.53	0.47	0.82**	0.83**
	NAB	0.53	0.72**	0.08	0.15	0.53	0.39
	NNK	0.58*	0.72**	0.38	0.42	0.59*	0.68*
	TSNAs	0.89**	0.73**	0.53	0.49	0.88**	0.96**

同列数据后标有“\*”代表相关性具有统计学意义( $P < 0.05$ )；同列数据后标有“\*\*”代表相关性具有高度统计学意义( $P < 0.01$ )。

### 3 结论与讨论

本试验结果表明,施氮量和留叶数对‘万毛 3 号’的烟碱、糖类和 TSNA<sub>s</sub> 及其前体物含量有极显著影响,不同组分随施氮量和留叶数的增加,呈现出不同的变化趋势。过量施肥,烟株营养过剩,且生物碱、硝酸盐水平升高,导致 TSNA<sub>s</sub> 含量升高,降低烟叶的品质与安全性;过多留叶,化学成分不协调,烟叶吃味差;适当控氮增叶,有利于协调化学成分,降低 TSNA<sub>s</sub> 含量,提高烟叶品质。万源晒红烟具有独特的吸味和香气特征,在混合型卷烟叶组配方中增香和改进吸味<sup>[19]</sup>,比较 TSNA<sub>s</sub> 含量,‘万毛 3 号’相对于白肋烟<sup>[14]</sup>,具有更高的安全性。在实际生产中,氮肥运筹和打顶留叶密不可分,双因素方差分析充分显示施氮量、留叶数及互作效应对烟叶化学成分、TSNA<sub>s</sub> 及前体物的影响程度,对优质晒红烟烟叶的生产具有极其重要的意义。

综合分析认为,在万源当地环境条件下,对‘万毛 3 号’施氮 225 kg/hm<sup>2</sup>、每株留叶 16 片处理,烟叶化学成分较协调。

#### 参考文献:

- [1] 王莹,李元实,赵铭钦,等.种植密度及留叶数对烤烟主要碳水化合物含量的影响[J].云南农业大学学报,2009,24(2):216-219.
- [2] 赵铭钦,韩静,刘友杰,等.种植密度和留叶数对延边烤烟中性致香物质含量及评吸质量的影响[J].浙江农业学报,2009,21(2):178-182.
- [3] 曹务栋,潘文杰,薛小平,等.不同留叶数对烤烟新品系兴烟 1 号生长及产值的影响[J].耕作与栽培,2009(5):13-14.
- [4] 韩富根,沈铮,李元实,等.施氮量对烤烟经济性状、化学成分及香气质量的影响[J].中国烟草学报,2009,15(5):38-42.
- [5] 李周兰,史宏志,刘国顺,等.四川白肋烟主栽品种适宜施氮量研究[J].中国烟草学报,2009,15(3):58-62.
- [6] 谢廷鑫,占朝琳,练焯晶,等.不同施氮量对烤烟 K326 生长发育及品质的影响[J].江西农业学报,2011,23(9):18-20.
- [7] 范伟.留叶数和施氮量互作对烟叶安全性及经济性状的影响[J].北京农业,2012(27):30.
- [8] 刘卫群,郭群召,汪庆昌,等.不同施氮水平对烤烟干物质、氮素积累分配及产质的影响[J].河南农业科学,2004(8):25-28.
- [9] 史宏志,徐发华,杨兴有,等.不同产地和品种白肋烟烟草特有亚硝胺与前体物关系[J].中国烟草学报,2012,18(5):9-15.
- [10] 孙楹淑,杨军杰,周骏,等.不同氮素形态对烟草硝态氮含量和 TSNA 形成的影响[J].中国烟草学报,2015,21(4):78-84.
- [11] 钱华,史宏志,赵晓丹,等.豫中烟区烟草 NC297 不同留叶水平的光合生理特性[J].江苏农业科学,2012,40(6):90-93.
- [12] 李进平,王昌军,戴先凯,等.移栽和打顶时间对白肋烟烟碱积累的影响[J].烟草科技,2001(6):35-37.
- [13] 王广山,尹启生,张树模,等.运用栽培技术措施调节白肋烟氮碱比提高其可用性的研究[J].烟草科技,2001(6):38-42.
- [14] 史宏志,李志,谢子发,等.白肋烟留叶数对叶片中性香气成分和生物碱含量的影响[J].河南农业大学学报,2008,42(4):375-379.
- [15] 郝再彬.植物生理生化实验指导[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004.
- [16] 王瑞新,韩富根,杨素勤.烟草化学品质分析法[M].郑州:河南科学技术出版社,1990.
- [17] ZHOU Jun, BAI Ruoshi, ZHU Yongfa. Determination of four tobacco-specific nitrosamines in mainstream cigarette smoke by gas chromatography/ion trap mass spectrometry[J]. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 2007, 21(24):4086-4092.
- [18] 陈义强,沈笑天,刘国顺,等.聚类分析与模糊数学在烟叶品质综合评价中的应用[J].江西农业大学学报,2007,29(4):550-556.
- [19] 闫克玉.烟草原料学[M].北京:科学出版社,2008.

责任编辑:罗慧敏

英文编辑:罗维