

施氮调控豫中烟区烤烟品质及经济效益研究

邢云霞^{1,2},刘世亮¹,朱金峰³,刘芳¹,姜桂英¹,
杜君⁴,化党领¹,王代长¹

(1.河南农业大学资源与环境学院,河南 郑州 450002; 2.河南省烟草公司三门峡市公司,河南 三门峡 472000;
3.河南省烟草公司漯河市公司,河南 漯河 462000; 4.河南省农业科学院,河南 郑州 450002)

摘要:烟草氮肥施用量不当仍是影响河南中部烟区浓香型烟叶品质的主要因素,本文采用大田试验,开展了豫中烟区施氮量调控烤烟农艺性状、化学成分、香气物质含量及经济效益的研究。试验在钾肥和磷肥施用量相同的基础上,设计 5 个施氮量水平(0,22.5,37.5,52.5,67.5 kg·hm⁻²),在烟株生长关键时期测定其农艺性状,并分析烤后烟叶的品质指标和香气物质含量。结果表明,在豫中烟区施氮水平为 52.5 kg·hm⁻²(N3 处理)烟株长势最佳,该处理烟株的株高、叶数、最大叶等指标最高,且上部烟叶开片较好,能够适时落黄;所测定的上部叶(B2F)和中部叶(C3F)的钾含量显著高于其它处理,上部叶氯含量也最低,并明显提高了钾/氯的比值,化学成分较协调;同时,该处理烤后中部叶(C3F)香气总量最高,达 860.08 μg·g⁻¹,且其烟叶的均价、中上等烟叶比例、产量、产值等经济效益显著高于其它处理,氮肥农学利用效率也达到最高。施氮量与烟叶均价、中上等烟叶比例、产量、产值之间在 0~52.5 kg·hm⁻²时随施氮量增加显著增加,但超过 52.5 kg·hm⁻²时则呈下降趋势。综上所述,在豫中烟区 52.5 kg·hm⁻²可视为当地高产、优质烟叶生产的最佳施氮量。

关键词: 氮;烤烟;化学成分;香气成分;经济效益
中图分类号: S572 **文献标志码:** A

Effect of nitrogen application on flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.)
quality and economic benefits in central of Henan Province

XING Yun-xia^{1,2}, LIU Shi-liang¹, ZHU Jin-feng³, LIU Fang¹, JIANG Gui-ying¹,
DU Jun⁴, HUA Dang-ling¹, WANG Dai-chang¹

(1. College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;
2. Sanmenxia City Tobacco Corporation of Henan Province, Sanmenxia, Henan 472000, China;
3. Luohe City Tobacco Corporation of Henan Province, Luohe, Henan 462000, China;
4. Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The unreasonable use of nitrogen (N) fertilizer is the key factor for flue-cured tobacco quality in Central of Henan Province. A field experiment with five levels of N application rates (0, 22.5, 37.5, 52.5, 67.5 kg·hm⁻²) was carried out to study the effect of nitrogen application rates on flue-cured tobacco agronomic characters, chemical components and economic benefits in the central part of Henan Province. The results showed that under the treatment with N application rate of 52.5 kg·hm⁻²(N3), the flue-cured tobacco growth vigor was best, and the height, leaf number, the maximum leaf was significant higher than that of other treatments. K content of upper leaves (B2F) and middle leaves (C3F) was significant higher than that of other treatments, the Cl content of upper leaves was significant lower than that of other treatments, so K/Cl ratio was relatively higher, and the chemical composition was more coordinated. Meanwhile, the aroma components content of N3 was as high as 860.08 μg·g⁻¹. The flue-cured tobacco average price, superior and

收稿日期:2016-07-06 修回日期:2017-09-27
基金项目:河南省烟草公司重大面上项目“豫中烤烟浓香型风味稳定机制及关键技术研究与应用”(HYKJ2010M01)、“烟田有机废弃物高效生物发酵资源化利用与技术集成”(HYKJ201215);河南省烟草公司重点项目“不同生物炭对植烟土壤碳氮比和紧实度调节机制研究及应用”(HYKJ201504)
作者简介:邢云霞(1987—),女,河南驻马店人,农艺师,研究方向为烟草营养调控。E-mail: xingxingyinghua@163.com。
通信作者:姜桂英,女,讲师,主要从事土壤肥力及其调控研究。E-mail: jgy9090@126.com。

secondary class ratio, yield and output value of N3 treatment was higher than that in others treatment. The N fertilizer use efficiency in N3 treatment was the highest. Moreover, under the N application range from 0 to $52.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, there was a significant positive correlation between N application rates among the average price, the proportion of superior tobacco leaves, yield, and output value. While beyond $52.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, all these indexes declined. A suggestion of N rate of $52.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ for quality flue-cured tobacco leaves was proposed in Central of Henan Province.

Keywords: nitrogen; flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.); chemical components; aroma components; economic benefits

国际上竞争激烈的烟草生产及吸烟与健康问题的提出,对烟草品质提出了更高的要求,发展优质烟叶无论是对烟农还是对卷烟工业都是十分重要的。河南省是我国浓香型烤烟种植的典型区域,烟叶风格显著,香气量足,香气质好,烟叶配伍性强。但近年来,河南产区普遍施肥量过高尤其是施氮量过高,造成烟叶品质下降,浓香型烟叶风格退化严重,因此研究烤烟需肥规律,确定适宜的施氮量已迫在眉睫。在影响烤烟产量和品质的诸多因素中,施肥是调控烟叶产量和质量的核心^[1-2]。大量试验研究表明,烟草对氮素营养非常敏感,氮素供应量对烤烟的产量与品质影响极大。有研究发现^[3-4],在磷、钾肥相同的条件下,施氮水平的提高能够提高团棵期烟株生长速度,且株高、叶片数、最大叶面积随施氮水平的提高而增加,叶片增长、宽度增加。平顶期烟株的农艺性状与施氮量呈正相关,且随施氮量增加,烟株生长期延长,成熟期延迟,会造成烟株贪青晚熟,形成“黑爆烟”;施氮量较低时,则烟株生长缓慢,上部叶成熟较早,烟株有严重脱肥现象,造成叶片退黄严重,烤后叶片薄而轻,烟叶品质下降明显^[5-7]。氮肥施用量的多少与烤烟田间生长密切关联,只有在适宜的氮肥供应条件下,烟株才能正常生长发育,生产出化学成分较协调的优质烟叶。除了对烟草农艺性状有显著影响外,氮肥施用量对烤后烟叶化学组成和致香成份影响也极其显著^[8]。研究表明,在合适施氮量条件下,烟叶中性致香物质总量较高^[9],而不同的致香物质对施氮量的响应表现不同,施氮量增加,其表现或呈增加的趋势,或呈减少的趋势,或先增加再减少,或先减少再增加^[8,10-12]。同时,烤烟的产量和品质也直接影响烟叶的可用性和经济效益。张扬等^[13]以中烟 100 为供试品种,研究认为施氮量低于或高于 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 都会降低中、上等烟叶的比例,使烤烟的均价下降;结合生产实践,从烟叶的可用性和经济效益综合考虑,中烟 100 获得优质和适宜产量的施氮量以 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 最佳。实际生产中,烟草对氮肥的反应受施氮量、肥料类型、施肥时

期、基追肥比例、土壤类型、土壤残留氮和土壤矿化氮供应、气候变化等因素的影响^[14-15]。不同烟区、不同土壤类型、不同烟草品种等对氮素不同水平的响应差异较大,总体呈现南多北少的趋势^[16-19],但也有例外^[20]。前人在氮素对烤烟的影响方面研究较多,但多集中在南方烟区,对于浓香型烤烟的主产区,豫中烟区的最佳施氮量问题随着时间和环境的变化仍需进一步精准确定。本研究以豫中烟区舞阳县为例,探讨了不同施氮量对烤烟产量及品质的影响,并进行了与经济效益之间的相关性研究,以期在当地高产、优质烟叶生产提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

试验于 2012 年在河南省舞阳县保和乡宗堂村(北纬 $33^{\circ}24' \sim 33^{\circ}59'$,东经 $113^{\circ}27' \sim 114^{\circ}16'$)进行。试验地土壤类型为黄褐土,质地为中壤,基本理化性状为:pH 值 6.3,有机质 $14.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效氮 $106.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷(P_2O_5) $16.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾(K_2O) $152.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。根据当地生产实践,设 5 个不同施氮量处理,分别为 N0(不施氮肥处理)、N1(纯氮用量为 $22.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、N2(纯氮用量为 $37.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、N3(纯氮用量为 $52.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)、N4(纯氮用量为 $67.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),每个处理 3 次重复。各处理磷钾施用量相同, P_2O_5 和 K_2O 分别为 $52.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $183.75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。氮肥选用硝酸铵和硝酸钾,磷肥使用过磷酸钙,用硫酸钾调节施钾量。每个处理的施肥量见表 1。

施肥方式为:42%的 N 素(硝酸铵提供),普钙、硫酸钾作基肥,在移栽前采用单行条施后起垄 20 cm 覆盖的方式施入。28%的 N 素(硝酸铵提供)在移栽时作为窝肥与土壤混合均匀施入,全部用硝酸钾(同时提供 30%的 N 素)作追肥,用水溶解后在团棵期定株浇施烟株周围半径 10 cm 土壤中,并覆土。

烟苗于 2012 年 5 月 6 日进行移栽,按 1.22 m 的行距和 0.50 m 的株距进行种植,并在 2012 年 9 月 9

日采收完毕。每个小区栽 165 株烟(16 500 株·hm⁻²),小区周边设 2 行保护行,管理方式按当地优质烤烟规范化栽培管理方法进行。

表 1 不同施氮量处理大田施肥量/(kg·hm⁻²)

Table 1 The treatments of nitrogen application rate				
处理 Treatment	NH ₄ NO ₃	KNO ₃	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	K ₂ SO ₄
N0	0	0	375.00	315.00
N1	45.00	50.00	375.00	292.00
N2	75.00	83.33	375.00	276.67
N3	105.00	116.67	375.00	261.33
N4	135.00	150.00	375.00	246.00

1.2 样品的采集与测定

分别在团棵期、旺长期和圆顶期调查各处理烟株的生长与发育情况,测定株高、叶数、茎围、最大叶长和叶宽等烟株农艺性状。

成熟期时烟叶以小区为单位进行挂牌采收,采用三段式烘烤工艺烘烤调制,并按烤烟 42 级国标标准进行分级^[21],并分别计算各小区产量、产值。分别选取各处理上部叶(B2F)和中部叶(C3F)样品,60℃烘干至恒重,粉碎,过 0.2 mm 筛,供烟叶常规化学成分和香气物质分析使用。

烟叶总糖、还原糖、烟碱、总氮、钾、氯等常规化学成分按照王瑞新等^[22]的方法测定;香气物质在国家烟草栽培生理生化研究基地采用固相微萃取顶空取样和气相色谱-质谱法(GC-MS)分析,具体操作参照文献^[23]进行。

1.3 数据分析

采用 Excel 2013 和 DPS 7.05 版软件进行数据处理和统计分析。其中相关系数 $|r| \geq 0.8$,视为高度

相关; $0.5 \leq |r| < 0.8$,视为中度相关; $0.3 \leq |r| < 0.5$,视为弱相关^[24]。

氮肥农学效率(kg·kg⁻¹)=(施肥作物产量—不施氮肥作物产量)/施氮量

2 结果与分析

2.1 施氮量对烤烟农艺性状的调控

由表 2 可见,N0 处理烟株相对较矮,长势较弱,生长不良,上部叶片开片较小,长度相对较短。与其相比,施氮量在 N1~N3(22.5~52.5 kg·hm⁻²)范围内,团棵期烟株株高、叶片数、最大叶长和宽均显著增加,且有随施氮量的增加而增高的趋势。施氮量在 N3~N4(52.5~67.5 kg·hm⁻²)范围内,团棵期最大叶长和宽有所增加,株高和叶数呈不显著下降趋势;旺长期株高和叶数有所增加但差异不显著($P < 0.05$)。团棵期,各氮肥处理间叶数差异不显著,但显著高于不施氮肥处理。旺长期烟株农艺性状指标随着施氮量的增加,总体上呈显著上升的趋势,但是施氮量超过 N3(52.5 kg·hm⁻²)最大叶长和宽有所减少。从烟株的生长势上看,随着施氮量的增加,长势加快。

由表 3 可以看出,不施氮肥处理(N0)的烟株由于肥力供应不足生长不良,落黄较早,植株较施氮处理低 6.9~29.1 cm,可采收烟叶数减少 2.6~4.6 片。与不施氮肥处理(N0)相比,各施氮量处理农艺性状均显著增加。圆顶期烟株株高、茎围、页数、叶片长和宽随施氮量的增加呈上升的趋势,株高和下部叶长和宽分别在 N3 处达到最大。其它指标均在 N4 处达到最大,但增加不明显。就落黄情况来看,N0~N2(0~37.5 kg·hm⁻²)处理烟叶落黄较早,N3(52.5 kg·hm⁻²)及 N4 处理烟株落黄减慢。

表 2 不同施氮量处理烤烟团棵期与旺长期农艺性状

Table 2 Agronomic characters of the flue-cured tobacco under different treatments								
处理 Treatment	团棵期 Nresettling stage				旺长期 Vigorous growth stage			
	株高 Height /cm	叶数 Leaf number	最大叶	长势 Growth vigor	株高 Height /cm	叶数 Leaf number	最大叶	长势 Growth vigor
			Maximum leaf				Maximum leaf	
			长/cm × 宽/cm Length × width				长/cm × 宽/cm Length × width	
N0	27.15d	12.7b	38.00 × 24.91	中 Medium	44.89d	16.44d	51.37 × 35.78	弱 Weak
N1	30.23c	14.1a	40.72 × 26.00	中 Medium	69.74c	17.56c	58.25 × 40.07	中 Medium
N2	31.44b	14.4a	41.61 × 26.11	强 Strong	70.22c	18.74b	60.32 × 44.34	强 Strong
N3	34.89a	15.2a	42.44 × 26.33	强 Strong	73.46ab	19.33a	63.33 × 46.37	强 Strong
N4	34.21a	14.7a	42.89 × 26.44	强 Strong	74.18a	20.63ab	62.44 × 45.21	强 Strong

注:同列数字标注不同字母表示差异显著($P < 0.05$);下同。
Note: The different letters in the same column mean significantly different at the $P < 0.05$ level, the same as below.

表 3 不同处理烤烟圆顶期农艺性状

Table 3 The agronomic characters of flue-cured tobacco at round top stage under different treatments

处理 Treatment	株高/cm Height	茎围/cm Stem girth	叶数 Leaf number	上部叶 Upper leaf	中部叶 Middle leaf	下部叶 Lower leaf	落黄情况 Yellowing situation
				长/cm × 宽/cm Length × width	长/cm × 宽/cm Length × width	长/cm × 宽/cm Length × width	
N0	141.50d	9.29c	16.2d	60.38 × 37.51	70.11 × 41.56	58.43 × 36.24	较快 Faster
N1	148.44bc	11.77b	18.8c	63.54 × 39.46	73.01 × 40.67	61.23 × 40.42	稍快 Faster
N2	154.89bc	12.00b	19.4b	67.76 × 41.20	70.22 × 42.00	64.39 × 43.25	稍快 Faster
N3	170.56a	12.72a	20.8a	75.67 × 44.89	75.56 × 41.39	73.83 × 47.56	正常 Normal
N4	170.22a	12.73a	20.9a	76.56 × 45.91	76.89 × 44.33	70.37 × 46.11	稍慢 Slower

2.2 施氮量对烤烟化学成分的调控

化学成分及其比值是烟叶香吃味的内在反映，是评价烟叶质量的重要指标^[20]。一般认为，优质烟叶评价标准一般是总糖含量达到 18% ~ 22%、还原糖含量达到 16% ~ 18%，总氮含量在 1.5% ~ 3.5% 范围内，烟碱含量在 1.5% ~ 3.5% 范围内，含钾量在 1.5% 以上，氯含量低于 1%，糖/碱比值 8 ~ 10，氮/碱比值接近于 1，钾/氯比值 ≥ 4^[25]。

2.2.1 对上部烟叶(B2F)常规化学成分的影响 烤后烟叶的内在化学成分的分析结果表明(见表 4)，不施氮处理(N0)上部叶(B2F)总糖和还原糖含量均较低，低于优质烟叶适宜范围。N2 处理烟叶总糖略低于 N1 处理烟叶总糖，但二者差异不显著，N3 处理还原糖显著高于 N1 处理，但与 N2 处理间差异不显著，N4 处理烟叶总糖、还原糖和 N3 还原糖已经超出适宜范围。烟碱和总氮表现为施氮量低于 52.5 kg·hm⁻²时，随着施氮量的增加而增加，施氮量为 52.5 kg·hm⁻²时(N3)显著降低，之后又显著增加。N4 处理烟叶烟碱、总氮仍然偏高，超出适宜范围。上部烟叶的钾含量表现为施氮量高于 52.5 kg·hm⁻² (N3 之前)时，随着施氮量的增加呈上升趋势，之后

又显著下降，且 N1、N2 和 N4 之间差异不显著。氯的含量随施氮量的增加没有明显的规律。从烟叶糖/碱比、氮/碱比、钾/氯比来看，N3 处理烟叶化学成分品质指标与优质烟更为接近，并且其钾/氯的比值相对较高，氯含量较低。

2.2.2 对中部烟叶(C3F)常规化学成分的影响 由表 4 可以看出中部叶(C3F)，各化学成分含量和上部叶有相似的变化趋势，并且除钾含量外，其它指标均低于上部叶(B2F)。和优质烟叶参照标准相比，除 N4 处理烟叶总糖、还原糖超出优质烟叶适宜范围，烟碱稍高外，中部烟叶较上部烟叶化学成分协调。

2.3 施氮量对烤后烟叶(C3F)中性致香成分的调控 烟叶香气是构成烟叶风格特性和质量特征的核心内容^[26]。通过对烤烟中部叶(C3F)香气物质 GS/MS 分析，共检测出 26 种中性致香物质(表 5)，其中棕色化合物 5 种、苯丙氨酸类降解产物 4 种、类西柏烷类降解产物 1 种、类胡萝卜素类降解产物 15 种、叶绿素降解产物 1 种。不同处理烤烟所含中性香气物质的种类相同，但各处理间中性致香物质含量却有所差异。

表 4 不同处理烤烟化学成分/%

Table 4 The chemical components of flue-cured tobacco under different treatments

等级 Grade	处理 Treatment	总糖 Total sugar	还原糖 Reducing sugar	烟碱 Nicotine	总氮 N	钾 K	氯 Cl	糖碱比 Sugar/alkali ratio	氮碱比 NIT/NIC ratio	钾氯比 K/Cl ratio
B2F	N0	13.92d	10.42d	1.38d	1.05d	0.79c	0.87b	7.55	0.76	0.90
	N1	18.65c	14.60c	3.04b	2.20c	1.47b	0.94a	4.80	0.72	1.57
	N2	18.59c	16.57bc	3.12b	2.30b	1.62b	0.92a	5.31	0.74	1.77
	N3	21.90b	19.71b	2.89c	2.21c	1.98a	0.52c	8.61	0.97	3.83
	N4	25.16a	23.56a	3.63a	3.18a	1.68b	0.76b	6.48	0.88	2.21
C3F	N0	12.55d	10.12c	1.13d	1.02c	1.14c	0.55a	8.96	0.91	2.06
	N1	17.31c	14.42b	2.13bc	2.30b	1.27c	0.68a	5.10	1.08	1.87
	N2	18.80c	15.47b	2.38b	2.34b	1.94b	0.65a	6.78	0.98	3.00
	N3	20.79b	17.75a	2.02c	2.06b	2.23a	0.52a	8.78	1.02	4.27
	N4	23.06a	19.66a	3.04a	2.62a	1.71b	0.64a	6.47	0.86	2.68

表 5 不同处理烤烟中部烟叶(C3F)中性致香成分含量/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

Table 5 The aroma components of flue-cured tobacco under different treatments

项目 Project	香气成分 Aroma component	处理 Treatment				
		N0	N1	N2	N3	N4
棕色化产物 Browning reactions	糠醛 Furaldehyde	17.06	18.55	17.81	17.83	20.17
	糠醇 Furfuryl alcoho	1.07	1.08	1.17	1.97	1.78
	2-乙酰基呋喃 2-Acetylfuran	0.56	0.63	0.57	0.53	0.67
	5-甲基糠醛 5-Methyl-furaldehyde	0.05	0.10	0.25	0.25	0.23
	2-乙酰基吡咯 2-Acetyl pyrrole	0.42	0.36	0.59	0.74	0.49
	合计 Total	19.16	20.73	20.39	21.33	23.34
苯丙氨酸类 降解产物 Phenylalanine	苯甲醛 Benzaldehyde	0.31	1.08	0.75	1.01	1.13
	苯甲醇 Benzyl alcohol	2.32	2.94	3.60	5.82	5.34
	苯乙醛 Phenylacetaldehyde	2.69	3.32	3.79	5.81	4.92
	苯乙醇 Phenylethanol	6.20	7.15	8.48	11.11	8.59
	合计 Total	11.53	14.50	16.62	23.76	19.98
类西柏烷类 Cembratriendiol	茄酮 Solanone	13.47	17.76	18.19	19.52	20.17
	合计 Total	13.47	17.76	18.19	19.52	20.17
类胡萝卜素类 Carotenoids	β -大马酮 β -Damascenone	8.32	13.72	15.04	15.33	15.59
	β -二氢大马酮 β -Damascone	6.46	9.21	9.63	11.10	9.21
	香叶基丙酮 Geranyl acetone	3.32	4.23	5.77	4.92	3.32
	二氢猕猴桃内酯 Dihydroactinidiolide	1.72	2.38	2.29	2.68	2.16
	巨豆三烯酮 1 Megastigmatrienone 1	2.34	3.38	3.35	4.31	3.61
	巨豆三烯酮 2 Megastigmatrienone 2	19.00	24.24	24.76	29.59	26.39
	巨豆三烯酮 3 Megastigmatrienone 3	7.44	8.05	9.37	8.26	7.13
	巨豆三烯酮 4 Megastigmatrienone 4	23.88	28.06	28.01	32.74	27.43
	法尼基内酮 Farnesylacetone	12.50	13.75	17.29	15.69	14.69
	芳樟醇 Linalool	0.72	0.84	0.64	0.98	0.97
	氧化异佛尔酮 Isophorone oxide	0.19	0.21	0.18	0.27	0.22
	3-羟基- β -二氢大马酮 3-Hydroxy- β -damascone	2.36	3.13	3.22	4.16	3.26
	螺岩兰草酮 Solavetivone	0.67	1.00	1.28	1.15	1.75
	3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮 3,4-Dimethyl-2,5-furanone	0.12	0.25	0.29	0.42	0.23
	6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-Methyl-5-Hepten-2-ketone	0.96	1.04	1.08	1.16	1.24
	合计 Total	89.99	113.50	122.19	132.79	117.20
叶绿素降解产物 Chlorophyll degradation	新植二烯 Neophytadiene	344.50	430.57	514.59	662.68	545.99
	香气物质总量 The aroma total	478.64	597.06	691.98	860.08	726.69

2.3.1 对棕色化产物含量的影响 棕色化产物对烟草香吃味质量的形成具有十分重要的作用。特别是其中的吡咯、呋喃类物质,含量虽低,但对烟叶香味的形成至关重要^[27]。由表 5 可以看出,中部烟叶棕色化产物各类成分含量随施氮量的增加规律不一致,但其总量随着施氮量的增加,大致呈逐步增加的趋势。N3 的糠醇、2-乙酰基吡咯均最高,而 N4 处

理烟叶糠醛,2-乙酰基呋喃最高。糠醛、糠醇、2-乙酰基呋喃均以 N0 处理最低,5-甲基糠醛和 2-乙酰基吡咯以 N1 处理最低。而在测定的 5 种棕色化产物中,各处理的糠醛含量均最高。

2.3.2 对苯丙氨酸类降解产物含量的影响 苯丙氨酸类香气物质成分对烤烟香气形成影响良好,特别是对烤烟的清香、果香贡献最大。苯甲醇和苯乙

醇是烤烟挥发油中最重要的化合物,其可使烤烟烟气增添花香的香味^[28]。表 5 表明,在(N0~N3)范围内,烟叶中苯丙氨酸类香气物质总含量随着施氮量先增加,然后又降低。在所测定的 4 种苯丙氨酸类香气物质中,苯甲醇、苯乙醛,苯乙醇均以 N3 最高,而苯甲醛以 N4 最高,各苯丙氨酸类降解产物含量均以 N0 处理最低。4 种苯丙氨酸类香气物质中,各处理均以苯乙醇含量最高。

2.3.3 对类西柏烷类含量的影响 茄酮及其衍生物是类西柏烷类香气物质的主要成分,不但具有很好的香气特性,而且茄醇、茄呢呋喃、降茄二酮等降解转化产物,也是烟草中很重要的致香物质^[28]。对不同处理烟叶中西柏烷类各种成分含量的测定结果(表 5)表明,施氮量试验类西柏烷类香气物质也只有出茄酮一种,且茄酮含量随着施氮量的上升呈上升趋势。

2.3.4 对类胡萝卜素类含量的影响 研究表明,烟叶中类胡萝卜素类香气物质产生的香味域值虽然较低,但可以明显提高烟叶的香气质量^[29]。通过对烟叶中类胡萝卜素降解产物含量的分析(表 5)表明,各处理烟叶的类胡萝卜素类香气成分含量随施氮量的增加规律与苯丙氨酸类降解产物含量相似,呈先升高趋势,N3 达到最高,到 N4 又下降的趋势。在所测定的 15 种类胡萝卜素类香气物质中, β -大马酮、螺岩兰草酮以 N4 最高,香叶基丙酮、巨豆三烯酮 3、法尼基内酮以 N2 最高外,其它类胡萝卜素降解产物含量均以 N3 最高。各类胡萝卜素类香气物质中各处理巨豆三烯酮 4 和法尼基内酮含量最高,氧化异佛尔酮含量最低。

2.3.5 对新植二烯含量及中性致香物质总量的影响 烤烟中性致香物质中新植二烯含量最高。其与烤烟烟气的品质关系密切,主要体现在可直接转移到烟气中,并且可减轻烟气的刺激性,并增加其柔和

性^[30]。表 5 显示,新植二烯含量与中性致香物质总量均随着施氮量的增加呈现先增加(N0~N3)、后降低的趋势。香气物质总量各处理较不施氮处理分别增加了 118.42,213.34,381.44,284.05 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$;增幅分别达 24.74%,44.57%,79.69%,59.34%;以 N3 提高最多。

2.4 施氮量对烤烟经济效益的调控

由表 6 可见,不施氮肥处理(N0)烤烟中上等烟叶比例、均价、产量、产值均较低,施氮肥处理经济性指标增加显著。烤烟产量随着施氮量的增加呈上升趋势,其中 N3 和 N4 处理产量显著高于其它处理,且其它处理产量也表现为随施氮量的增加而显著增加;而产值方面,以 N3 处理最高,其次是 N4 处理,并且 N3 处理显著高于 N4 处理,其它处理也表现为烤烟产值随施氮量的增加而显著性增加。烟叶的均价及中上等烟叶比例方面,均以 N3 处理最高,显著高于 N4 和 N2 处理,并极显著高于其它处理。说明随着施氮量的增加,烤烟的产量呈上升的趋势,而均价、中上等烟叶比例及产值在施氮量到达一定的程度 N3 后又呈显著下降的趋势。对烟叶氮农学利用效率统计发现,不同处理间由高到低的表现顺序为:N3>N1>N4>N2,以 N3 最高,达到 16.17 $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

对不同施氮量与烤烟经济性状的相关性分析得知,施氮量与均价、中上等烟叶比例、产量、产值之间均呈显著正相关($P<0.05$),其中与产量之间的相关性系数达 0.964,呈极显著相关($P<0.01$)。施氮量与农学利用效率相关性不大。

3 讨 论

烤烟对氮素非常敏感,已知在所有营养元素中,氮肥对烟株生长发育和品质的影响最大^[31-32]。一般认为氮素供应过高或过低都会对烟叶的产量和质

表 6 不同处理烤烟经济性状

Table 6 The economic benefits of flue-cured tobacco under different treatments					
处理 Treatment	均价 Average price /(yuan·kg ⁻¹)	中上等烟叶比例 Superior and secondary class ratio/%	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	产值 Output value /(yuan·hm ⁻²)	氮肥农学利用效率 Nitrogen use efficiency /(kg·kg ⁻¹)
N0	15.13d	41.21d	1828.32e	27662.48e	—
N1	17.34c	58.71c	2170.03d	37628.67d	15.19
N2	18.76b	68.14b	2308.39c	43304.65c	12.80
N3	20.37a	80.29a	2677.05ab	54531.51a	16.17
N4	19.32b	71.12b	2728.79a	52720.22b	13.34
相关性 Correlation	0.901*	0.926*	0.964**	0.957*	-0.179

注: * 在 0.05 水平上显著相关; ** 在 0.01 水平上显著相关。
Note: “*” means significant correlation at the 0.05 level; “**” means significant correlation at the 0.01 level.

量影响很大。随施氮量的增加,株高、茎围、最大叶面积表现为增加的趋势,但试验地的土壤条件不同,增加的趋势不同^[33]。李雪君等^[34]在河南许昌的研究表明,豫烟7号和豫烟9号两个品种在 $37.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 氮用量水平长势较强、产值量较高,化学成分协调、经济效益和感官质量最好;在 $52.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 氮用量水平下长势强、产量高,但中上等烟比例明显下降,经济效益和感官质量次于 $37.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 氮用量水平。相同地点,穆文静等^[35]对NC297的研究则发现 $30\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时其综合品质和经济效益最好。福建不同土壤类型相同烟草品种其最适施氮量差异也较大^[17]。综合来说施用氮肥能够有效促进烤烟的生长,但随着施用量增加,对烤烟的综合效益和品质则呈现下降的趋势。在本试验的漯河舞阳植烟区,试验结果表明,施氮能够有效促进烟烤圆顶期以前的生长发育,施氮量不同影响不同。不施氮肥处理(N0)烟株相对较矮,长势较弱,生长不良,上部叶片开片较小,长度相对较短,且落黄较早,这与前人报道结果基本一致。在团棵期、旺长期和圆顶期,烟株长势以施氮量 $52.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的处理较好,落黄时间较适宜,施氮量过多或过少均对烟株生长和烟叶的正常落黄产生明显不利影响。

化学成分及相应指标的比值是烟叶内在质量的重要指标。一般认为,烟气甜度和醇和度决定于水溶性总糖含量,而烟叶的生理强度和烟气浓度决定于总氮和烟碱含量^[36-37]。高琴等^[38]研究发现在河南平顶山烟区,施氮量为 $22.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 使以氮代谢为主转向以碳代谢为主时间前移,而施氮量为 $82.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理的硝酸还原酶活性下降时间推迟,阻碍了烟叶碳氮代谢的适时转化,不利于烟叶成熟落黄,施氮量为 $67.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时烤烟的各成分含量、比例协调,利于生产优质烟叶。刘亚琦等^[39]在许昌烟区的研究发现不同的施氮量对烟叶中的叶绿素、可溶性蛋白质含量影响不显著,对硝酸还原酶活性影响显著,对游离氨基酸含量影响极显著;在中部烟叶逐渐成熟过程中,不同施氮量对可溶性蛋白质含量影响不显著,对硝酸还原酶活性影响显著,对叶绿素、游离氨基酸含量影响均极显著,其中以 $45\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的施氮量处理烤烟的生长品质和综合效益最优。可见不同的施氮量主要是通过影响烤烟的碳氮代谢,进一步影响碳氮代谢的产物而促使不同施用量下烤烟的化学成分发生变化,最终影响其品质的优劣。而不同土壤条件和气候条件,烤烟的不同品种对不同施氮量的响应表现出不同差异。本试验研究表明,氮水平 $52.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理中、上部烟叶糖/

碱比、氮/碱比较适宜,且其钾/氯比值相对较高,氯含量较低,烟叶化学成分相对较协调,达到优质烟叶标准。此外,施氮量 $52.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 是个拐点,超过此值后,中、上部叶烟碱和总氮含量均显著增加,含钾量显著下降,对烤烟的化学成分协调性十分不利。同时看到,除不施氮肥处理外,其它施氮处理烟碱含量均较高,多数达到3.0%以上,说明上部烟叶烟碱含量较高仍然是制约当地优质烤烟生产的主要问题。

烟叶香气是评定烟叶品质的核心内容,烟叶香气质量是由多种香气成分的组成、含量、比例及相互作用所决定的,烟叶香气质量优劣可以通过分析烟叶香气物质的含量进行客观地评价^[40]。本研究对烤烟中性致香成分影响结果表明,在检测出的5类26种中性致香物质成分中,棕色化合物、类西柏烷类降解产物随施氮量的增加大致呈增加的趋势,均以N4(施氮量 $67.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)最高。而苯丙氨酸类降解产物、类胡萝卜素类降解产物、新植二烯含量和中性致香物质的总量均以N3最高(施氮量 $52.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)。经相关性分析可知,施氮量与中性致香成分相关性系数为0.856,呈高度相关,但相关性不显著。说明增施氮肥,中性致香物质总量有所增加,但并非是越多越好。氮肥施用对烤烟香气含量和成分影响方面的研究较多,所得出的结果差异也较大,但也与烟叶品种、土壤类型、栽培措施和生态环境的变化有密切关系,这需要多年试验进行验证。

张扬等^[13]认为施氮量低于或高于 $75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 均会降低中、上等烟叶的比例,使烤烟的均价下降。本试验研究表明,河南当地施氮量为 $52.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,烤烟均价、中上等烟叶比例和产值显著较高。这与前人研究结果的有所不同,可能是由于土壤肥力条件差异造成。经相关性分析可知,氮肥施用量与烤烟均价、中上等烟叶比例、产量、产值之间均呈高度显著正相关,与产量相关性系数最大,达极显著水平。

4 结 论

烤烟对不同施氮水平的响应差异受多种因素影响,气候条件、土壤性质、烤烟品种、氮肥的类型及施用方法等都会影响到烤烟的生长及品质。在豫中漯河烟区,相对其它施氮水平,施氮量为 $52.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 烟株长势最佳,该处理烟株的株高、叶数、最大叶等指标最高,且上部烟叶开片较好,能够适时落黄;所测定的上部叶(B2F)和中部叶(C3F)的钾含量显著高于其它处理,且上部叶氯含量最低,并明显提高了

钾/氯的比值,化学成分较协调;同时,该处理烤后中部叶(C3F)香气总量最高,且其烟叶的均价、中上等烟叶比例、产量、产值等经济效益显著高于其它处理,氮肥农学利用效率也达到最高。在豫中烟区 $52.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 可视为当地高产、优质烟叶生产的最佳施氮量。

参 考 文 献:

[1] 张延春,陈治锋,龙怀玉,等.不同氮素形态及比例对烤烟长势,产量及部分品质因素的影响[J].植物营养与肥料学报,2005,11(6):787-792.

[2] 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.

[3] 谭炳昱,刘 莉,杨永花,等.施氮量对 NC102 品种生长发育及产质量的影响[J].中国烟草科学,2015,36(2):66-70.

[4] 张建忠,叶想青,李文卿,等.施氮量对翠碧 1 号生长发育及烟叶质量风格的影响[J].中国烟草科学,2011,32(5):63-67.

[5] 刘国顺.烟草栽培学[M].北京:中国农业出版社,2003.

[6] 安德艳,舒敏言.不同施氮量对烤烟产质的影响[J].耕作与栽培,1998,(2):47-49.

[7] 卢晓华,熊德忠,杨美丽.氮素营养水平对烤烟生长发育及产质量的影响[J].中国烟草科学,2012,33(1):52-55.

[8] 李文卿,陈顺辉,李春俭,等.不同施氮水平对烤后烟叶中性致香物质含量的影响[J].中国烟草学报,2010,16(6):14-20.

[9] 刘 霞,张 毅,刘国顺,等.施氮量对烤烟中性致香物质含量的影响[J].中国农学通报,2008,24(3):200-204.

[10] 韩富根,沈 铮,李元实,等.施氮量对烤烟物理性状和香气质量的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2009,35(1):53-57.

[11] 赵铭钦,杨 磊,李元实,等.不同施氮水平对烤烟中性致香成分及评吸质量的影响[J].云南农业大学学报,2009,24(1):16-21.

[12] 苏 菲,史宏志,杨军杰,等.不同施氮量协同打顶后同量调控对烤烟中性致香物质含量及评吸质量的影响[J].河南农业大学学报,2012,46(4):374-379,384.

[13] 张 杨,裴 军,王方峰,等.不同施肥水平对中烟 100 产质量的影响[J].中国烟草科学,2007,28(6):33-35,38.

[14] 李文卿,陈顺辉,曾文龙,等.氮肥施用与烤烟氮素营养关系研究[J].中国烟草科学,2008,29(4):38-41.

[15] 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,2007,13(2):331-337.

[16] 刘贯山,李章海,姚 军,等.不同氮素水平对烤烟生长发育的影响[J].烟草科技,1997,2:37-39.

[17] 梁晓红.不同供氮水平对烤烟碳氮代谢及烟叶品质的影响[D].福州:福建农林大学,2009.

[18] 张黎明.氮素用量对烤烟生长发育及产质量的影响[J].湖南

农业科学,2011,(18):29-30.

[19] 武云杰,李 飞,杨铁钊,等.氮素营养水平对衰老期烟叶氮代谢的影响及品种间差异[J].中国烟草学报,2014,20(4):41-47.

[20] 郭培国,陈建军,郑燕玲,等.不同施氮水平条件下烤烟对氮素的利用研究[J].热带亚热带土壤科学,1996,5(3):145-148.

[21] 闫克玉,赵献章.烟叶分级[M].北京:中国农业出版社,2003.

[22] 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.

[23] 刘世亮,杜 君,化党领,等.不同有机酸对烤烟品质和产值的影响[J].作物学报,2008,34(5):851-858.

[24] 王苏斌,郑海涛,邵谦谦.SPSS 统计分析[M].北京:机械工业出版社,2003.

[25] 王瑞新.烟草化学[M].北京:中国农业出版社,2003.

[26] 韩锦峰,马常力,王瑞新,等.不同肥料类型及成熟度对烤烟香气物质成分及香型的影响[J].作物学报,1993,19(3):253-261.

[27] 汪耀富,高华军,刘国顺,等.不同基因型烤烟叶片致香物质含量的对比分析[J].中国农学通报,2005,21(5):117-120.

[28] 史宏志,刘国顺.烟草香味学[M].北京:中国农业出版社,1998.

[29] 周冀衡,杨虹琦,林桂华,等.不同烤烟产区烟叶中主要挥发性香气物质的研究[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2004,30(1):20-23.

[30] D Layten Dav. 烟草:生产,化学和技术[M].北京:化学工业出版社,2003.

[31] 王国峰,朱金峰,刘 芳,等.营养液氮浓度对烟草苗期矿质养分吸收与积累的影响[J].河南农业科学,2014,43(1):64-68.

[32] 范艺宽,毛家伟,叶红朝.不同品种,施氮量,种植密度对烤烟农艺性状,经济性状和化学品质的影响[J].河南农业科学,2013,42(12):46-50.

[33] 符云鹏,杨双剑,方 明,等.氮用量对湘西晒红烟生长发育,产量及品质的影响[J].烟草科技,2005,(4):42-45.

[34] 李雪君,丁燕芳,李淑君,等.不同施氮量对烤烟新品种豫烟 7 号、豫烟 9 号产量和品质性状的影响[J].江西农业学报,2014,26(2):102-105.

[35] 穆文静,杨园园,宋莹丽,等.施氮量和留叶数互作对烤烟 NC297 产量和质量的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2014,40(1):19-22.

[36] 左天觉.烟草的生产、生理和生物化学[M].上海:上海远东出版社,1993.

[37] 林彩丽,杨铁钊,杨述元,等.不同基因型烟草生长过程中主要化学成分的变化[J].烟草科技,2003,(1):30-34.

[38] 高 琴,刘国顺,李 姣,等.不同氮肥水平对烤烟质体色素和碳氮代谢及品质的影响[J].河南农业大学学报,2013,47(2):138-142.

[39] 刘亚琦,刘国顺,田 茜.施氮量对烤烟成熟期叶片生理特性的影响[J].华南农业大学学报,2013,34(4):465-469.

[40] 马兴华,张忠锋,荣凡番,等.高低土壤肥力条件下烤烟对氮素吸收,分配和利用的研究[J].中国烟草科学,2009,30(1):1-4.