

# 种植密度和施氮量互作对烤烟生长发育及产质量的影响

刘楠楠<sup>1</sup>, 孙敬钊<sup>1,2</sup>, 皮本阳<sup>2</sup>, 孙智勇<sup>2</sup>, 李强<sup>2</sup>, 白玉超<sup>1</sup>, 李雪玲<sup>1</sup>, 黄敏升<sup>1</sup>, 郭婷<sup>1,3</sup>, 崔国贤<sup>1,4\*</sup>

(1. 湖南农业大学苧麻研究所, 湖南长沙 410128; 2. 常德市烟草公司临澧县分公司, 湖南常德 415000; 3. 湖南省桂阳县烟草局专卖, 湖南桂阳 424000; 4. 中国农业科学院麻类研究所, 湖南长沙 410205)

**摘要** [目的] 研究不同种植密度和氮肥用量互作对烤烟生长发育及产质量的影响, 为提高常德烟区烟草生产水平和烟叶质量提供指导。[方法] 采用两因素随机区组设计, 以云烟 87 为试验材料, 设置 3 个水平种植密度, 3 个水平氮肥用量, 共 9 个组合处理, 研究不同处理对烤烟生长发育和产质量的影响。[结果] 烤烟生育期主要受氮肥用量的影响, 而种植密度对生育期基本没有影响。种植密度和氮肥用量对烤烟单株叶面积、株高、茎围、单叶重和节距的影响显著, 对叶片总糖含量和还原糖含量影响显著, 对上部叶和下部叶烟碱含量影响显著, 对烤烟上等烟比例、产量和均价的影响显著。其交互作用对上部叶烟碱含量和还原糖含量影响显著, 对中部叶和下部叶还原糖含量和总钾含量影响显著。氮肥用量是单株叶面积、株高、单叶重、节距、烟叶总氯含量、烟叶总钾含量、烟叶总氮含量、烤烟产量、烟叶均价和产值有关参数的主要决定因子, 种植密度是茎围、烟叶烟碱含量、烟叶总糖含量、烟叶还原糖含量和上等烟比例有关参数的主要决定因子。[结论] 烟叶产量以  $D_3N_3$  (种植密度 1.80 万株/hm<sup>2</sup>, 施氮量 135 kg/hm<sup>2</sup>) 处理最高, 为 2 104.6 kg/hm<sup>2</sup>; 烟叶产值以  $D_2N_2$  (种植密度 1.65 万株/hm<sup>2</sup>, 施氮量 120 kg/hm<sup>2</sup>) 处理最高, 为 52 729.7 元/hm<sup>2</sup>。

**关键词** 烤烟; 种植密度; 氮肥用量; 交互作用; 产量; 品质; 产值

**中图分类号** S572 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)19-124-04

## Effects of Planting Density and Nitrogen Fertilization Amount on Growth, Yield and Quality of Flue-cured Tobacco

LIU Nan-nan<sup>1</sup>, SUN Jing-zhao<sup>1,2</sup>, PI Ben-yang<sup>2</sup>, CUI Guo-xian<sup>1,4\*</sup> et al (1. Ramie Research Institute of Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128; 2. Linli County Branch of Changde Municipal Tobacco Company, Changde, Hunan 415000; 4. Institute of Bast Fiber Crops, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changsha, Hunan 410205)

**Abstract** [Objective] To study the effects of the interaction of planting density and nitrogen fertilization amount on the growth and development, yield, quality and production value of flue-cured tobacco, and provide guidance for improving the production level and tobacco leaf quality in Changde tobacco-growing areas. [Methods] Two-factor randomized block design was applied, Yunyan 87 was taken as experimental material, and planting density was set to 3 levels, to explore the effects of the planting density and nitrogen fertilization amount on growth and development, yield, quality and production value of flue-cured tobacco. [Results] The results showed that flue-cured tobacco growth stage was mainly affected by nitrogen fertilization amount, and the growth stage of tobacco plants was not affected by planting density. The nitrogen fertilization and clipping height exerted significant effect on plant height, node length, single plant leaf area index, stem girth and leaf weight of the tobacco plants, and had significant effect on the contents of total sugar and reducing sugar in the leaves of tobacco and the contents of nicotine in the lower and middle leaves of tobacco, also had significant effect on the yield, the price and the highest class leaf proportion of tobacco. Both the contents of total sugar and reducing sugar in the upper leaves of tobacco displayed significant interaction between planting density and nitrogen fertilization amount. The interaction between the planting density and nitrogen fertilization also had significant effect on the contents of reducing sugar and total potassium in the lower and middle leaves of tobacco. Nitrogen fertilization was the dominant factor affecting the plant height, node length, single plant leaf area index, leaf weight, the contents of total chlorine, the contents of total potassium, the contents of total nitrogen, the yield, the price and the highest class leaf proportion of tobacco. Planting density was the dominant factor affecting the stem girth, the highest class leaf proportion and the contents of nicotine, total sugar and reducing sugar in the leaves of tobacco. [Conclusion] The yield is highest (2 104.6 kg/hm<sup>2</sup>) when the planting density is  $1.80 \times 10^4$  plants/hm<sup>2</sup> and the nitrogen fertilization amount is 135 kg/hm<sup>2</sup>, the economic benefit is the highest (52 729.7 yuan/hm<sup>2</sup>) when the planting density is  $1.65 \times 10^4$  plants/hm<sup>2</sup> and the nitrogen fertilization amount is 120 kg/hm<sup>2</sup>.

**Key words** Flue-cured tobacco; Planting density; Nitrogen fertilization amount; Interaction; Yield; Quality; Production value

烟草是我国主要经济作物之一, 虽然种植面积只占耕地面积的千分之十左右, 但其经济价值较大, 对发展国民经济和满足人们物质生活需求都起着重要的作用。烟草在我国分布区域非常广泛, 年种植面积和总产量均居世界首位<sup>[1-2]</sup>, 常年种植烟草 100 余万 hm<sup>2</sup>, 烟叶年产量达 200 余万吨。烟草区域化生产是稳定烟叶种植规模, 发挥地区烟草生产优势, 实现烟草生产区域化、专业化生产的前提, 是提高总体烟叶质量的重要途径<sup>[3-4]</sup>。

烟草对氮肥要求特别严格, 氮肥过多或过少都会对烟叶

的产量和品质产生很大的影响<sup>[5]</sup>。为追求较高的经济效益, 烟农通常施用过量的氮肥, 导致烟叶烟碱和全氮含量严重超标, 品质下降, 工业可用性差。合理施用氮肥, 在保证烟株养分、提高烟叶产量的同时, 还可以改善烟叶品质, 提高烟叶的利用价值<sup>[6-7]</sup>。目前关于氮肥用量对烤烟生长发育及烟叶品质影响的研究很多, 但我国烟区分布范围十分广泛, 气候、土壤条件复杂多样, 针对不同地区应选用适宜的氮肥用量<sup>[8-10]</sup>。

常德市是湖南省重要烟区之一, 烟草种植面积和产量占全省 5% 左右。常德烟区存在着施肥不合理、氮肥用量大、肥料利用率低等问题。随着全国烟叶市场竞争的日益激烈, 充分发挥常德烟区地理优势和内在潜力, 提高烤烟质量和种烟的经济效益是当前亟待解决的问题。笔者针对当前常德烟区烟叶生产中存在的主要问题, 探讨不同种植密度与施氮量对烤烟生长发育及产量的影响, 以期提高常德烟区烟叶生产

**基金项目** 湖南省烟草公司常德市公司 2015 年科技创新自立项目; 现代农业产业技术体系“国家麻类产业技术体系土壤肥料岗位”(CARS-19-E20)。

**作者简介** 刘楠楠(1991-), 女, 湖北枣阳人, 硕士研究生, 从事苧麻生理与生化研究。\* 通讯作者, 教授, 博士生导师, 从事麻类栽培育种、生理生态、植物营养生理及作物信息技术研究。

**收稿日期** 2016-05-16

水平和烟叶质量。

## 1 材料与方法

**1.1 试验地概况与材料** 试验于 2015 年在常德市临澧县陈二乡百草村进行,供试烟田前茬作物为水稻。常德市位于湖南省西北部,属中亚热带湿润季风气候向北亚热带湿润季风气候过渡的地带,年平均气温 16.7 °C,年降水量 1 200 ~ 1 900 mm。供试土壤养分情况如下:全氮 1.65 g/kg、全磷 2.70 g/kg、全钾 13.4 g/kg、碱解氮 112.4 mg/kg、速效磷 90.4 mg/kg、速效钾 66.2 mg/kg、有机质 15.7 g/kg、pH 5.6。供试品种为云烟 87,由常德市烟草公司临澧县分公司提供。

**1.2 试验设计** 试验采用两因素随机区组设计,开展种植密度(D)和施氮量(N)两因素烟草栽培试验,试验处理设计见表 1,每处理 3 个重复,小区面积 66 m<sup>2</sup>。每个小区施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 102 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 382.5 kg/hm<sup>2</sup>,其中基肥占 70%,于烟株移栽前 5 ~ 10 d 施用,追肥占 30%,分 2 次在移栽后 30 d 施完,大田管理参照优质烟叶生产技术进行。

表 1 试验处理设计

处理 Treatment	种植密度 D Planting density 万株/hm <sup>2</sup>	施氮量 N N fertilization amount//kg/hm <sup>2</sup>
D <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	1.50	105
D <sub>1</sub> N <sub>2</sub>	1.50	120
D <sub>1</sub> N <sub>3</sub>	1.50	135
D <sub>2</sub> N <sub>1</sub>	1.65	105
D <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	1.65	120
D <sub>2</sub> N <sub>3</sub>	1.65	135
D <sub>3</sub> N <sub>1</sub>	1.80	105
D <sub>3</sub> N <sub>2</sub>	1.80	120
D <sub>3</sub> N <sub>3</sub>	1.80	135

表 2 种植密度和氮肥互作处理下烤烟生育期

Table 2 Growth stage of flue-cured tobacco treated by interaction of planting density and N fertilizer

处理 Treatment	移栽期 Transplantation stage//月-日	团棵期 Rosette stage 月-日	现蕾期 Flower-budding stage 月-日	脚叶成熟期 Bottom leaf mature stage 月-日	顶叶成熟期 Top leaf mature stage//月-日	生育期 Growth period//d
D <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	03-05	04-17	05-08	05-30	07-12	129
D <sub>1</sub> N <sub>2</sub>	03-05	04-15	05-10	06-01	07-15	132
D <sub>1</sub> N <sub>3</sub>	03-05	04-15	05-10	06-02	07-19	136
D <sub>2</sub> N <sub>1</sub>	03-05	04-17	05-08	05-30	07-12	129
D <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	03-05	04-15	05-10	06-01	07-15	132
D <sub>2</sub> N <sub>3</sub>	03-05	04-15	05-10	06-02	07-19	136
D <sub>3</sub> N <sub>1</sub>	03-05	04-17	05-08	05-30	07-12	129
D <sub>3</sub> N <sub>2</sub>	03-05	04-15	05-10	06-01	07-15	132
D <sub>3</sub> N <sub>3</sub>	03-05	04-15	05-10	06-02	07-19	136

**2.2 种植密度和氮肥互作对烤烟农艺性状的影响** 由表 3 可知,种植密度和氮肥用量对烤烟单株叶面积、株高、茎围、单叶重和节距的影响显著,对有效叶片数影响不显著;其交互作用对单株叶面积、株高、茎围、有效叶片数、单叶重和节距的影响不显著。比较 *F* 值大小可知,氮肥用量是单株叶面积、株高、单叶重和节距有关参数的主要决定因子,而种植密度是茎围有关参数的主要决定因子。在相同氮水平下,烟株单株叶面积、茎围和单叶重随种植密度的增加而降低;烟株株

## 1.3 测定项目与方法

**1.3.1 生育期。**移栽后开始观察和记载生育期<sup>[11]</sup>,包括移栽期、团棵期、现蕾期、脚叶成熟期和顶叶成熟期。

**1.3.2 农艺性状。**于打顶期测定各处理烤烟的农艺性状,包括株高、茎围、有效叶片数、单叶重、节距和单株叶面积。

**1.3.3 经济性状。**各处理烟叶正常成熟采收、分级扎把,统计烟叶产量和经济性状,按当地收购价格计算烟叶产值。

**1.3.4 化学成分。**取各处理上部叶、中部叶和下部叶,测定烤后烟叶中总氮、总糖、还原糖、烟碱、总氯和总钾含量。

**1.4 数据处理与分析** 采用 DPS 数据处理系统(v7.05 专业版)和 Microsoft Excel 2007 进行数据统计分析。

## 2 结果与分析

**2.1 种植密度和氮肥互作对烤烟生育期的影响** 由表 2 可知,烤烟生育期主要受氮肥用量的影响,而种植密度对生育期基本没有影响。氮肥用量少,烤烟进入团棵期时间延长,D<sub>1</sub>N<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>N<sub>1</sub> 和 D<sub>3</sub>N<sub>1</sub> 处理进入团棵期时间较其他处理迟 2 d。随着氮肥用量增加,烤烟进入现蕾期、脚叶成熟期和顶叶成熟期的时间延长,有利于叶片充分生长。其中,D<sub>1</sub>N<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>N<sub>1</sub> 和 D<sub>3</sub>N<sub>1</sub> 处理进入现蕾期比其他处理早 2 d;D<sub>1</sub>N<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>N<sub>1</sub> 和 D<sub>3</sub>N<sub>1</sub> 处理于 5 月 30 日进入脚叶成熟期,7 月 12 日进入顶叶成熟期;D<sub>1</sub>N<sub>2</sub>、D<sub>2</sub>N<sub>2</sub> 和 D<sub>3</sub>N<sub>2</sub> 处理于 6 月 1 日进入脚叶成熟期,7 月 15 日进入顶叶成熟期;D<sub>1</sub>N<sub>3</sub>、D<sub>2</sub>N<sub>3</sub> 和 D<sub>3</sub>N<sub>3</sub> 处理于 6 月 2 日进入脚叶成熟期,7 月 19 日进入顶叶成熟期。随着氮肥用量的增加,烤烟生育期延长,其中 D<sub>1</sub>N<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>N<sub>1</sub> 和 D<sub>3</sub>N<sub>1</sub> 处理生育期为 129 d,D<sub>1</sub>N<sub>2</sub>、D<sub>2</sub>N<sub>2</sub> 和 D<sub>3</sub>N<sub>2</sub> 处理生育期为 132 d,D<sub>1</sub>N<sub>3</sub>、D<sub>2</sub>N<sub>3</sub> 和 D<sub>3</sub>N<sub>3</sub> 处理生育期为 136 d。

高和节距随种植密度的增加而增加。在相同种植密度下,烟株单株叶面积、株高、茎围、单叶重和节距随施氮量的增加而增加。在不同种植密度和氮肥用量处理下,烟株单株叶面积以 D<sub>1</sub>N<sub>3</sub> 处理最高,比其他处理高 2.49% ~ 17.05%;烟株株高以 D<sub>3</sub>N<sub>3</sub> 处理最高,比其他处理高 1.38% ~ 13.80%;烟株茎围以 D<sub>1</sub>N<sub>3</sub> 处理最高,比其他处理高 4.30% ~ 25.97%;烟株单叶重以 D<sub>1</sub>N<sub>3</sub> 处理最高,比其他处理高 8.64% ~ 39.68%;烟株节距以 D<sub>3</sub>N<sub>3</sub> 处理最高,比其他处理高 7.84% ~ 30.95%。

表3 种植密度和氮肥互作处理下烤烟农艺性状

Table 3 Main agronomic traits of treatment of planting density and N fertilizer

处理 Treatment	单株叶面积 Single plant leaf area//m <sup>2</sup>	株高 Plant height//cm	茎围 Stem girth//cm	有效叶片数 Effective leaves	单叶重 Single leaf weight//g	节距 Node length cm
D <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	1.87de	95.23e	8.4de	15a	7.1de	4.2d
D <sub>1</sub> N <sub>2</sub>	1.99ab	99.14cd	9.3ab	15a	8.1b	4.4d
D <sub>1</sub> N <sub>3</sub>	2.06a	105.09ab	9.7a	15a	8.8a	4.9bc
D <sub>2</sub> N <sub>1</sub>	1.81ef	97.43de	8.1def	14a	6.7ef	4.4d
D <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	1.90cd	102.11bc	8.5cde	15a	7.5cd	4.7c
D <sub>2</sub> N <sub>3</sub>	2.01ab	106.89a	9.0bc	15a	8.0b	5.1b
D <sub>3</sub> N <sub>1</sub>	1.76f	98.04de	7.7f	14a	6.3f	4.7c
D <sub>3</sub> N <sub>2</sub>	1.85de	104.74ab	8.0ef	14a	7.2d	5.1b
D <sub>3</sub> N <sub>3</sub>	1.97bc	108.37a	8.6cd	15a	7.7bc	5.5a

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: small letters in the same column data denote significant difference ( $P < 0.05$ ).

**2.3 种植密度和氮肥互作对烤后烟叶经济性状的影响** 由表4可知,种植密度和氮肥用量对烤烟上等烟比例、产量和均价的影响显著;氮肥用量对产值的影响显著,种植密度对产值的影响不显著,其交互作用对上等烟比例、产量、均价和产值的影响不显著。比较  $F$  值大小可知,氮肥用量是烤烟产量、均价和产值有关参数的主要决定因子,而种植密度是上等烟比例有关参数的主要决定因子。在相同氮水平下,烤烟上等烟比例随种植密度的增加而降低;烤烟产量随种植密度的增加而增加;烤烟均价随种植密度的增加而降低。在  $N_1$  水平上,烤烟产值从大到小依次为处理  $D_3$ 、 $D_1$ 、 $D_2$ ;在  $N_2$  水平上,烤烟产值从大到小依次为处理  $D_2$ 、 $D_1$ 、 $D_3$ ;在  $N_3$  水平上,烤烟产值从大到小依次为处理  $D_3$ 、 $D_1$ 、 $D_2$ 。在相同种植密度下,烤烟上等烟比例和产量随氮肥用量增加而增加;烟叶均价先升高后降低。在  $D_1$  和  $D_2$  水平

上,烟叶产值随氮肥用量增加先增加后下降;在  $D_3$  水平上,烟叶产值随氮肥用量增加而增加。在不同种植密度和氮肥用量处理下,烟叶上等烟比例以  $D_1N_3$  处理最高,比其他处理高 8.01% ~ 44.01%,上等烟叶比例从大到小依次为处理  $D_1N_3$ 、 $D_1N_2$ 、 $D_2N_3$ 、 $D_1N_1$ 、 $D_3N_3$ 、 $D_2N_2$ 、 $D_2N_1$ 、 $D_3N_2$ 、 $D_3N_1$ ;烟叶产量以  $D_3N_3$  处理最高,比其他处理高 4.00% ~ 19.41%,烟叶产量从大到小依次为处理  $D_3N_3$ 、 $D_3N_2$ 、 $D_2N_3$ 、 $D_2N_2$ 、 $D_1N_3$ 、 $D_3N_1$ 、 $D_1N_2$ 、 $D_2N_1$ 、 $D_1N_1$ ;烟叶均价以  $D_1N_2$  处理最高,比其他处理高 3.77% ~ 16.53%,烟叶均价从大到小依次为处理  $D_1N_2$ 、 $D_2N_2$ 、 $D_1N_3$ 、 $D_3N_2$ 、 $D_2N_3$ 、 $D_1N_1$ 、 $D_3N_3$ 、 $D_2N_1$ 、 $D_3N_1$ ;烟叶产值以  $D_2N_2$  处理最高,为 52 729.7 元/hm<sup>2</sup>,比其他处理高 1.22% ~ 18.78%,烟叶产值从大到小依次为处理  $D_2N_2$ 、 $D_1N_2$ 、 $D_3N_3$ 、 $D_1N_3$ 、 $D_3N_2$ 、 $D_2N_3$ 、 $D_3N_1$ 、 $D_1N_1$ 、 $D_2N_1$ 。

表4 种植密度和氮肥互作处理下烤后烟叶经济性状

Table 4 Economic traits of tobacco leaves treated by planting density and N fertilizer

处理 Treatment	上等烟比例 Percentage of the highest quality//%	产量 Yield//kg/hm <sup>2</sup>	均价 Average price//元/kg	产值 Output value 元/hm <sup>2</sup>
D <sub>1</sub> N <sub>1</sub>	47.9bcd	1 762.5e	25.2bcd	44 415.0b
D <sub>1</sub> N <sub>2</sub>	51.2b	1 894.3cd	27.5a	52 093.3a
D <sub>1</sub> N <sub>3</sub>	55.3a	1 964.5bc	26.4abc	51 862.8ab
D <sub>2</sub> N <sub>1</sub>	43.3ef	1 826.9de	24.3cd	44 393.7b
D <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	45.9de	1 989.8bc	26.5ab	52 729.7a
D <sub>2</sub> N <sub>3</sub>	50.0bc	2 016.3ab	25.2bcd	50 810.8ab
D <sub>3</sub> N <sub>1</sub>	38.4g	1 923.6bcd	23.6d	45 396.9ab
D <sub>3</sub> N <sub>2</sub>	42.4f	2 023.7ab	25.5abcd	51 604.4ab
D <sub>3</sub> N <sub>3</sub>	47.5cd	2 104.6a	24.7bcd	51 983.6a

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: small letters in the same column data denote significant difference ( $P < 0.05$ ).

**2.4 种植密度和氮肥互作对烤后烟叶化学成分的影响** 由表5可知,种植密度和氮肥用量对烤烟上部叶烟碱含量、总糖含量和还原糖含量影响显著,氮肥用量对上部叶总氮含量、钾含量和总氮含量影响显著,其交互作用对上部叶烟碱和还原糖含量影响显著,对总氮含量、总糖含量、钾含量和总氮含量影响不显著。比较  $F$  值大小可知,种植密度是烤烟上部叶烟碱含量、总糖含量和还原糖含量有关参数的主要决定因子,而氮肥用量是烤烟上部叶总氮含量、总钾含量和总氮含量有关参数的主要决定因子。在不同种植密度和氮肥用

量处理下,烤烟上部叶烟碱含量以  $D_1N_3$  处理最高,为 3.55%,比其他处理高 2.31% ~ 38.67%;上部叶总氮含量以  $D_3N_3$  处理最高,为 1.26%,比其他处理高 0.80% ~ 50.00%;上部叶总糖含量以  $D_3N_3$  处理最高,为 24.25%,比其他处理高 0.54% ~ 13.64%;上部叶还原糖含量以  $D_3N_3$  处理最高,为 19.34%,比其他处理高 0.05% ~ 9.33%;上部叶钾含量以  $D_1N_3$  处理最高,为 2.41%,比其他处理高 2.99% ~ 33.15%;上部叶总氮含量以  $D_3N_3$  处理最高,为 2.13%,比其他处理高 4.41% ~ 17.68%。在相同氮水平下,随着种植密度增加,烤

烟上部叶烟碱和总氮含量呈降低趋势;总糖含量和还原糖含量呈上升趋势。在相同种植密度下,随着氮肥用量的增加,烤烟上部叶烟碱含量、总氮含量、总糖含量、还原糖含量、总钾含量和总氮含量呈上升趋势。

种植密度和氮肥用量对烤烟中部叶总糖含量和还原糖含量影响显著,种植密度对烤烟中部叶烟碱含量影响显著,氮肥用量对烤烟中部叶总氮含量、钾含量和总氮含量影响显著,其交互作用对烤烟中部叶还原糖含量和总钾含量影响显著。比较  $F$  值大小可知,种植密度是烤烟中部叶烟碱含量、总糖含量和还原糖含量有关参数的主要决定因子,而施氮量是烤烟中部叶总氮含量、总钾含量和总氮含量有关参数的主要决定因子。在相同氮水平下,随着种植密度增加,烤烟中部叶烟碱含量呈下降趋势;总氮含量、总钾含量和总氮含量变化不明显;总糖含量和还原糖含量呈上升趋势。在相同种植密度下,随着氮肥用量的增加,烤烟中部叶总氮含量、总糖含量、还原糖含量、钾含量和总氮含量呈上升趋势;烟碱含量变化不明显。在不同种植密度和氮肥用量处理下,烤烟中部叶烟碱含量以  $D_1N_2$  处理最高,为 2.20%,比其他处理高 2.80%~25.00%;中部叶总氮含量以  $D_1N_3$  处理最高,为 0.78%,比其他处理高 5.41%~52.94%;中部叶总糖含量以  $D_2N_3$  处理最高,为 26.81%,比其他处理高 0.71%~8.98%;中部叶还原糖含量以  $D_2N_3$  处理最高,为 21.45%,比其他处理高 1.37%~11.49%;中部叶钾含量以  $D_3N_3$  处理最高,为

2.67%,比其他处理高 6.80%~25.94%;中部叶总氮含量以  $D_3N_3$  处理最高,为 1.74%,比其他处理高 1.16%~14.47%。

种植密度和氮肥用量对烤烟下部叶烟碱含量、总糖含量和还原糖含量影响显著,氮肥用量对烤烟下部叶总氮含量、总钾含量和总氮含量影响显著,其交互作用对烤烟下部叶还原糖含量和钾含量影响显著。比较  $F$  值大小可知,种植密度是烤烟下部叶烟碱含量、总糖含量和还原糖含量有关参数的主要决定因子,而施氮量是烤烟下部叶总氮含量、总钾含量和总氮含量有关参数的主要决定因子。在相同氮水平下,随着种植密度增加,烤烟下部叶烟碱含量呈下降趋势;烤烟下部叶总糖含量和还原糖含量呈上升趋势;总氮含量、总钾含量和总氮含量变化无规律性。在相同种植密度下,随着氮肥用量的增加,烤烟下部叶烟碱含量、总氮含量、总糖含量、还原糖含量、钾含量和总氮含量均呈上升趋势。在不同种植密度和氮肥用量处理下,烤烟下部叶烟碱含量以  $D_1N_3$  处理最高,为 1.78%,比其他处理高 2.30%~25.35%;下部叶总氮含量以  $D_1N_3$  处理最高,为 0.66%,比其他处理高 1.54%~37.50%;下部叶总糖含量以  $D_2N_3$  处理最高,为 24.58%,比其他处理高 0.08%~11.58%;下部叶还原糖含量以  $D_3N_3$  处理最高,为 20.11%,比其他处理高 3.29%~10.43%;下部叶钾含量以  $D_1N_3$  处理最高,为 2.73%,比其他处理高 1.49%~13.28%;下部叶总氮含量以  $D_2N_3$  处理最高,为 1.51%,比其他处理高 2.72%~14.39%。

表 5 种植密度和氮肥互作处理下烤后烟叶化学成分

Table 5 Main chemical composition of tobacco leaves treated by planting density and N fertilizer

叶位 Leaf position	处理 Treatment	烟碱 Nicotine//%	总氮 TCl //%	总糖 Total sugar//%	还原糖 Reducing sugar//%	总钾 TK//%	总氮 TN//%
上部叶 Upper leaves	$D_1N_1$	3.15cd	0.89 de	21.34c	17.69d	1.82d	1.84cd
	$D_1N_2$	3.47ab	1.23ab	22.56b	18.56c	1.99bc	1.88cd
	$D_1N_3$	3.55a	1.25ab	22.54b	18.56c	2.41a	2.13a
	$D_2N_1$	2.78e	0.96de	23.58a	18.72c	1.81d	1.81d
	$D_2N_2$	3.34b	1.02cd	23.56a	18.73c	2.04b	1.87cd
	$D_2N_3$	3.32bc	1.31a	23.67a	18.64c	2.33a	2.04ab
	$D_3N_1$	2.56f	0.84e	23.89a	19.01b	1.86cd	1.82d
	$D_3N_2$	2.64ef	1.12bc	24.12a	19.33a	1.96bcd	1.94bc
	$D_3N_3$	2.98d	1.26ab	24.25a	19.34a	2.34a	2.03ab
中部叶 Middle leaves	$D_1N_1$	2.13a	0.52d	24.60e	19.24d	2.33bc	1.53c
	$D_1N_2$	2.20a	0.61bcd	24.89de	19.56cd	2.34bc	1.66ab
	$D_1N_3$	2.14a	0.78a	25.61cd	19.89bc	2.50b	1.72a
	$D_2N_1$	1.88bc	0.55d	24.89de	19.78bcd	2.12d	1.52c
	$D_2N_2$	1.93b	0.59cd	25.90bc	20.14bc	2.36bc	1.63abc
	$D_2N_3$	1.89bc	0.71abc	26.81a	21.45a	2.48b	1.72a
	$D_3N_1$	1.79cd	0.51d	26.13abc	20.37b	2.13d	1.52c
	$D_3N_2$	1.76d	0.61bcd	26.62ab	21.16a	2.25cd	1.59bc
	$D_3N_3$	1.84bcd	0.74ab	26.58ab	21.08a	2.67a	1.74a
下部叶 Lower leaves	$D_1N_1$	1.61c	0.48d	22.03d	18.21e	2.56b	1.32b
	$D_1N_2$	1.74ab	0.54bcd	23.10c	18.55d	2.57b	1.42a
	$D_1N_3$	1.78a	0.66a	23.14c	18.56d	2.73a	1.47a
	$D_2N_1$	1.44d	0.59abc	23.04c	18.41de	2.41c	1.31b
	$D_2N_2$	1.46d	0.58abc	24.12ab	19.18c	2.58b	1.47a
	$D_2N_3$	1.66bc	0.63ab	24.58a	19.22c	2.69a	1.51a
	$D_3N_1$	1.42d	0.51cd	23.89b	19.10c	2.57b	1.32b
	$D_3N_2$	1.45d	0.63ab	24.17ab	19.47b	2.57b	1.45a
	$D_3N_3$	1.58c	0.65a	24.56a	20.11a	2.59b	1.46a

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: small letters in the same column data denote significant difference ( $P < 0.05$ ).

表1 不同耕作模式下不同土层耗水量及其百分比

Table 1 Water consumption and its proportion in different soil layers under various farming modes

处理 Treatment	0~20 cm		20~40 cm		40~60 cm		60~80 cm		80~100 cm		0~100 cm	
	耗水量 Water consumption mm	百分比 Proportion %										
①	-5	-10.7	4	9.9	17	34.7	20	38.3	23	42.8	60	24.2
②	3	7.1	15	33.6	19	40.1	25	47.6	26	49.0	89	36.3
③	6	13.5	18	39.5	25	52.5	29	55.4	27	50.6	106	43.0

含水量易降到作物凋萎时的含量;到达多雨时期,在短时间内可到达最大持水量湿度,波动范围可由6%达到22%,靠近地表的耕层常处于风干状态。

(2)李玲玲等<sup>[7]</sup>研究表明,不同耕作措施对表层0~10 cm土壤含水量影响较大,而免耕秸秆覆盖在作物播种期可以显著增加播种期土壤含水量,0~200 cm土壤剖面贮水量年变化分为春夏作物旺盛生长失墒期(5月中旬至7月中旬),夏秋季增墒期(7月中旬至10月中旬)和冬春稳墒期(11月-翌年-5月上旬)3个阶段<sup>[7]</sup>。

(3)该研究结果表明,100 cm深土体内小麦高茬旋耕还田模式的土壤含水量大于高茬粉碎秸秆覆盖模式和高茬粉碎秸秆后播种夏玉米模式的土壤含水量,而高茬粉碎秸秆覆盖模式的土壤含水量略大于高茬粉碎秸秆后播种夏玉米模式的土壤含水量。这说明小麦高茬旋耕还田模式相对于高

茬粉碎秸秆覆盖模式更有利于土壤水分的蓄积。但由于2015年是异于常年的少雨年份,在麦收后的几个月关键蓄雨期内只接受了不到近10年平均值50.0%的降水,因此对于3种处理模式在正常年份或多雨年份的表现仍有待于研究。

### 参考文献

- [1] 孟万忠,赵景波.近六百年来山西气象灾害与气候变化[M].北京:中国社会科学出版社,2014.
- [2] 白丽芹,纪春艳,张冰,等.气候变暖对临汾尧都区冬小麦适宜播种期的影响分析[J].农学学报,2014(8):12-15,21.
- [3] 戴锋平.免耕与秸秆还田对土壤理化性质和小麦生长的影响[D].扬州:扬州大学,2013.
- [4] 柴跃进.处理小麦高茬的4种模式[J].山西农机,1998(5):11.
- [5] 杜娟.尧都区耕层土壤粒级及微量元素空间分布特征研究[D].临汾:山西师范大学,2013.
- [6] 刘文国,张建昌,曹卫贤,等.多种栽培模式下旱地小麦土壤水分的动态变化[J].西北农业学报,2006(4):112-116.
- [7] 李玲玲,黄高宝,张仁陟,等.不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响[J].生态学报,2005(9):2326-2332.

(上接第127页)

### 3 结论

种植密度和氮肥用量是决定烤烟生长代谢和产量的重要因子,其交互作用对烟株生长发育、产量和品质形成都有着重要的影响。该研究结果表明,随着氮肥用量增加,烟草的营养生殖期会显著增加,但种植密度改变对其生长周期的影响相对很小;烟草产量与种植密度和氮肥用量成正比,烤烟品质随着氮肥用量增加而增加;烟叶产量以 $D_3N_3$ (种植密度1.80万株/hm<sup>2</sup>,施氮量135 kg/hm<sup>2</sup>)处理最为理想,为2 104.6 kg/hm<sup>2</sup>,比其他处理高4.00%~19.41%,烟叶产量从大到小依次为处理 $D_3N_3$ 、 $D_3N_2$ 、 $D_2N_3$ 、 $D_2N_2$ 、 $D_1N_3$ 、 $D_3N_1$ 、 $D_1N_2$ 、 $D_2N_1$ 、 $D_1N_1$ ;烟叶产值以 $D_2N_2$ (种植密度1.65万株/hm<sup>2</sup>,施氮量120 kg/hm<sup>2</sup>)处理最高,为52 729.7元/hm<sup>2</sup>,比其他处理高1.22%~18.78%,烟叶产值从大到小依次为处理 $D_2N_2$ 、 $D_1N_2$ 、 $D_3N_3$ 、 $D_1N_3$ 、 $D_3N_2$ 、 $D_2N_3$ 、 $D_3N_1$ 、 $D_1N_1$ 、 $D_2N_1$ 。

### 参考文献

- [1] 中国农业科学院烟草研究所.烟草栽培学[M].上海:上海科学技术出

版社,2005:3-133.

- [2] 国家烟草专卖局.2004年烟草行业经济运行继续保持良好发展态势[EB/OL].(2005-01-21)[2016-04-01].http://www.fjycw.com/news/200501/20050121453666.shtml.
- [3] 招启柏,黄年生,徐卯林.我国烟草丸粒化包衣技术的研究与发展方向[J].中国烟草科学,2002,23(1):25-27.
- [4] CHEN S Y, SHI Y Y, GUO Y Z, et al. Temporal and spatial variation of annual mean air temperature in arid and semiarid region in northwest China over a recent 46 year stage[J]. Journal of arid land, 2010, 2(2):87-97.
- [5] 邱万勇,刘烈定,凌寿军.不同施肥方式及水肥调控对烟叶产质量的影响[J].中国烟草科学,2005(5):22-24.
- [6] 林桂华,杨述元,上官克攀.龙岩不同施肥技术对烟叶产量和质量的影响[J].中国烟草科学,2002(3):34-36.
- [7] 李良勇,余卓越,邹喜明.不同施肥方式对烤烟生长发育及烟叶产质量的影响[J].中国烟草科学,2002(4):53-55.
- [8] 马兴华,苑举民,荣凡番,等.施氮对烤烟氮素积累、分配及土壤氮素矿化的影响[J].中国烟草科学,2011,32(1):17-21.
- [9] 宗会,温华东,张燕,等.氮肥形态、用量和种植密度对香料烟光合作用的影响[J].烟草科技,2004(1):33-35.
- [10] 孙敬钊,白玉超,皮本阳,等.不同氮肥用量对烤烟生长发育及品质的影响[J].安徽农业科学,2016(5):42-43.
- [11] 张喜峰,张立新,高梅,等.密度与氮肥互作对烤烟氮钾含量、光合特性及产量的影响[J].中国土壤与肥料,2013(2):32-36,61.