

烟稻轮作模式下烤烟增密减氮的主要化学成分效应分析

邓小华¹, 杨丽丽¹, 邹凯^{2*}, 齐永杰³, 徐文兵³, 张光利², 于庆涛², 雷天义²

(1 湖南农业大学农学院, 长沙市 410128; 2 湖南省烟草公司邵阳市公司, 湖南邵阳 422000;

3 广西中烟工业有限责任公司, 广西南宁 530001)

摘要:【目的】增密减氮是一项绿色增产增效技术, 明确我国南方烟稻轮作模式下烤烟增密和减氮的可行性, 对指导特色优质烟叶开发具有重要意义。【方法】在湖南邵阳烟区烟稻轮作田块进行了密度和施氮量双因素三水平完全随机田间试验。三个种植密度分别为 16667 (习惯种植密度)、18182 和 20000 株/hm², 三个施氮量分别为 N 105、120 和 135 kg/hm²。测定了烤后烟叶主要化学成分, 采用隶属函数对化学成分数据进行标准化, 用主成分分析计算每个成分权重, 构建了烟叶化学成分可用性指数, 采用 η_p^2 分析了烤烟种植密度和施氮量及其互作对烟叶化学成分的效应。【结果】烤烟化学成分可用性指数以种植密度 18182 株/hm² 和施氮量 120 kg/hm² 组合处理最高, 其次是密度 18182 株/hm² 和施氮量 135 kg/hm² 组合处理。施氮量对烟叶化学成分可用性的效应约为 46.3%, 种植密度对烟叶化学成分可用性的效应约为 30.1%, 种植密度和施氮量互作对烟叶化学成分可用性的效应约为 23.6%。【结论】采用 η_p^2 更能客观地定量分析种植密度和施氮量及其互作对烟叶化学成分的影响。种植密度、施氮量及二者互作对烟叶化学成分可用性的效应不同, 以施氮量为主, 其次是种植密度。与邵阳当地和我国南方类似地区现行的种植密度 (16675 株/hm²) 和施氮量 (N 135 kg/hm²) 相比, 邵阳地区烤烟适当增加种植密度和减施氮肥是可行的, 烟稻轮作模式下烤烟推荐种植密度和施氮量分别为 18182 株/hm²、120 kg/hm²。

关键词:烤烟; 烟叶化学成分; 增密减氮; 化学成分可用性指数; 偏 Eta² 值 (η_p^2)

Effect of density-increasing and nitrogen-saving on chemical components of flue-cured tobacco under tobacco-rice rotation system

DENG Xiao-hua¹, YANG Li-li¹, ZOU Kai^{2*}, QI Yong-jie³, XU Wen-bin³, ZHANG Guang-li², YU Qing-tao², LEI Tian-yi²

(1 Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2 Shaoyang Tobacco Company of Hunan Province, Shaoyang, Hunan 422000, China; 3 China Tobacco Guanxi Industrial Co., Ltd., Nanning, Guangxi 530001, China)

Abstract:【Objectives】Density-increasing and nitrogen-saving are main techniques for high yield and high quality. The feasibility of the density-increasing and nitrogen-saving in flue-cured tobacco production was studied in this paper in South China tobacco-rice rotation field. 【Methods】A field experiment with two factor and three levels was conducted using tobacco cultivar of K326 as materials in Shaoyang tobacco-rice rotation area in Hunan Province. The three density levels were 16667 plant/hm² (currently used)、18182 plant/hm² and 20000 plant/hm², and the three nitrogen application levels were 105, 120 and 135 kg/hm². The contents of important chemical components in flue-cured tobacco leaves were measured and standardized by the membership function and the principal component analysis method, their weight to construct the chemical composition of tobacco leaf usability index of chemical composition were calculated. The effects of planting density, nitrogen level and their interaction on chemical components of flue-cured tobacco were analyzed by establishing chemical components usability index (CCUI) and adopting partial eta-squared (η_p^2) value. 【Results】The highest chemical availability index was in density treatment of 18182 plant/hm², in nitrogen treatment of N 120 kg/hm², and in the combination of density 18182 plant/hm² with nitrogen 120 kg/hm² among the respective treatment groups. The combination of

收稿日期: 2016-09-26 接受日期: 2017-03-18

基金项目: 邵阳市烟草公司项目 (sy13-15ky01); 广西中烟工业有限责任公司项目 (201545000034011) 资助。

作者简介: 邓小华 (1965—), 男, 湖南永州人, 博士, 教授, 主要从事烟草科学与工程技术研究。E-mail: yzdxh@163.com

* 通信作者 E-mail: zouksy@hntobacco.com

density 18182 plant/hm² and N 135 kg/hm² showed the second highest chemical availability index. The contribution of nitrogen fertilizer on tobacco chemical components usability was about 46.3%, and that of planting density was about 30.1%, and that of the interaction of planting density and N rate was about 23.6%.

【Conclusions】 Nitrogen application rate plays major role in contents of chemical components in tobacco leaves and planting density does the secondary role. Compared with the currently planting density of 16675 plant/hm² and nitrogen application rate of 135 kg/hm² in southern China tobacco production areas, it is feasible to increase planting density to 18182 plant/hm² and reduce nitrogen application rate to 120 kg/hm².

Key words: flue-cured tobacco; chemical component content; plant density-increasing and nitrogen-saving; chemical components usability index (CCUI); partial eta-squared (η_p^2)

烟叶化学成分是烟叶质量的内在基础，也是烟叶质量评价的重要指标^[1-2]。烟叶化学成分是由多指标构成，每个指标反映烟叶化学成分的某个质量^[2]，但单指标较难完整描述烟叶化学成分状况，因而需要对烟叶化学成分进行综合评价。烟叶化学成分综合评价方法在对烟区化学成分特征研究中被广泛应用，如薛超群等^[3]、丁云生等^[4]和李伟等^[5]采用模糊综合评判方法分别对上海集团申豫烤烟基地、大理州、湖南浓香型烟叶产区化学成分进行了综合评价。增密减氮作为一项绿色增产增效技术，已在玉米^[6]、水稻^[7]、油菜^[8]等作物上得到较为广泛的应用。种植密度和施氮量影响烟株生长发育、产量和产值^[9-12]，更影响烟叶化学成分^[9-14]。张黎明等^[9]、张建^[10]、毛家伟等^[11]、张喜峰^[12]研究了种植密度和施氮量对烟叶化学成分的影响，杨跃华等^[13]、刘晶等^[14]采用方差分析对种植密度和施氮量的烟叶化学成分效应进行了分析，但上述研究或是没有对烟叶化学成分进行综合评价分析，或是就两者对烟叶化学成分评价指标的影响缺乏深入研究。

邵阳市位于湖南省中部略偏西南，属典型的中亚热带湿润季风气候，常年产烟 1.5 万吨左右，是湖南省浓香型烤烟的重要产烟区^[15-16]，烟稻轮作是其主要种植模式。如同我国南方其他烟稻轮作地区一样，邵阳烟区烤烟种植也是普遍采用稀植和大肥大水方式，这样的种植方式虽然可以提高烟叶产量，但烟叶化学成分不协调和工业可用性差的问题日趋突出。增密减氮技术是否能够在保证产量的基础上改善烟叶化学成分和提高烟叶可用性无疑是非常值得研究的。为此，本文通过在邵阳烟区开展小区烤烟栽培试验，构建烟叶化学成分可用性指数和采用 η_p^2 (partial eta-squared, 偏 Eta² 值)，分析种植密度和施氮量及其互作对烟叶化学成分的效应，明确增密减氮栽培措施在邵阳烟区以及我国南方类似烟稻轮作区的可行性，为特色优质烟叶栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点和材料

小区栽培试验于 2014 年在湖南省邵阳县金称市镇金洲村 (26.84°N, 111.15°E) 烟稻轮作田块进行。烤烟品种为 K326，试验地土壤质地为粘壤土，pH 5.93、有机质 39.50 g/kg、碱解氮 142.32 mg/kg、有效磷 15.42 mg/kg、速效钾 188.72 mg/kg。供试肥料包括湖南金叶众望科技股份有限公司生产的烟草专用基肥 (N-P₂O₅-K₂O 为 8%-10%-11%)、生物发酵饼肥 (N-P₂O₅-K₂O 为 5%-0.8%-1%)、提苗肥 (N-P₂O₅ 为 20%-9%) 和专用追肥 (N-P₂O₅-K₂O 为 10.0%-5.0%-29.0%)；新疆罗布泊钾盐有限责任公司生产的硫酸钾 (K₂O 为 51%)。

1.2 试验设计

试验采用双因素随机区组设计，设置三个种植密度 (A): A1 (CK)，邵阳烟区烤烟习惯种植密度，16667 株/hm²，行距 120 cm × 株距 50 cm；A2，18182 株/hm²，行距 110 cm × 株距 50 cm；A3，20000 株/hm²，行距 100 cm × 株距 50 cm。三个施氮量 (B): B1，纯氮 105 kg/hm²；B2，施纯氮 120 kg/hm²；B3，邵阳烟区习惯施氮量，施纯氮 135 kg/hm²。合计 9 个处理，每个处理设置 3 次重复，共 27 个小区，小区面积 60 m²。采用漂浮育苗，3 月 24 日移栽。各处理施氮、磷、钾肥比例为 1 : 1 : 2.8。60% 的专用基肥和生物发酵饼肥在起垄前条施于垄底，其余在移栽前 10~15 d 穴施。移栽后约 1 周和 2 周分别浇施一半的提苗肥，约 3 周穴施烟草专用追肥，约 4 周穴施硫酸钾。初花期打顶，留叶数 16~18 片。按邵阳市优质烤烟生产标准开展其他田间管理。

1.3 化学成分测定项目及方法

按照标准^[17]选取具有代表性的中部烟叶 C3F 等

级进行化学成分测定。采用荷兰 SKALAR San++ 间隔流动分析仪测定烤后烟叶总糖、还原糖、烟碱、总氮和氯含量^[18], 火焰光度法测定烟叶钾含量。

1.4 化学成分可用性指数构建

烟叶化学成分属于多指标, 为寻找主要化学成分综合表现好的试验处理, 采用隶属函数、加权指数和法构建化学成分可用性指数 (chemical components usability index, CCUI), 依据化学成分可用性指数高低判断不同处理优劣, 其值越大, 化学成分综合表现越好^[5]。

第一步, 烟叶化学成分数据的标准化。烟叶化学成分不同指标的最适值范围不一致。运用模糊数学理论中的隶属函数将各化学成分指标的原始数据转换为 0~1 的标准化数值, 其标准化公式与参数如下:

烟叶总糖、还原糖、总氮、烟碱、氯含量采用抛物线型 (parabola, 简称 P) 隶属函数^[3-5], 按以下公式计算隶属度,

$$N(x) = \begin{cases} 0.1 & x < x_1; x > x_2 \\ 0.9(x - x_1)/(x_3 - x_1) + 0.1 & x_1 \leq x < x_3 \\ 1.0 & x_3 \leq x \leq x_4 \\ 1.0 - 0.9(x - x_4)/(x_2 - x_4) & x_4 < x \leq x_2 \end{cases}$$

烟叶钾含量采用 S 型隶属函数^[3-5], 按以下公式计算隶属度,

$$N(x) = \begin{cases} 1.0 & x > x_2 \\ 0.9(x - x_1)/(x_2 - x_1) + 0.1 & x_1 \leq x \leq x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \end{cases}$$

式中: x 为烟叶化学成分实际检测值, x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 分别代表各化学成分的下临界值、上临界值、最优值下限、最优值上限, 其值参考相关文献^[3, 5]确定(表 1)。

第二步, 烟叶化学成分各指标权重的确定。烟叶化学成分不同指标各自具有相对重要性, 在综合评价中应赋予权重, 采用主成分分析方法进行^[5, 19]。烟叶化学成分球形假设检验表明 Bartlett 值为 84.453,

$P < 0.05$, 说明烟叶化学成分 6 个指标非独立, 可进行主成分分析; 提取主成分累积贡献率达 88.7% 的前 3 个主成分计算载荷矩阵。计算出总糖、还原糖、烟碱、总氮、钾、氯的权重分别为 14.4%、15.9%、27.8%、24.6%、10.4%、6.9%。

第三步, 化学成分可用性指数计算。采用加权指数和法计算不同处理烟叶化学成分可用性指数。其计算公式^[5]如下:

$$\text{CUUI} = \sum_{j=1}^6 N_{ij} \times W_{ij}$$

式中: N_{ij} 和 W_{ij} 分别表示第 i 个样本、第 j 个指标的标准化值和权重系数, 其中 $0 < N_{ij} \leq 1$, $0 < W_{ij} \leq 1$, 且满足 $\sum_{j=1}^6 W_{ij} = 100$ 。

1.5 数据统计分析

采用 Microsoft Excel 2013 软件初步整理试验数据后, 用 IBM Statistics SPSS17.0 统计软件进行方差分析, 多重比较采用新复极差法。当方差分析结果为显著性差异时, 同时引入 η_p^2 (偏 Eta² 值) 来比较种植密度和施氮量及其互作对烟叶化学成分指标变异的贡献率大小。当 $0.01 < \eta_p^2 \leq 0.06$ 表示低度影响效应, $0.06 < \eta_p^2 \leq 0.14$ 表示中度影响效应, $\eta_p^2 > 0.14$ 为高度影响效应^[20-21]。种植密度和施氮量及其互作的烟叶化学成分指标 η_p^2 求和后转换为百分率, 其结果便是种植密度和施氮量及其互作对烟叶化学成分总变异贡献率的大小。

2 结果与分析

2.1 对烤烟产量的影响

从表 2 看, A2 和 A1 处理的产值极显著高于 A3 处理, 但产量差异不显著, 这表明适中密度的产值最高。施氮量处理多重比较结果显示, B3 处理的产

表 1 烟叶化学成分的隶属函数类型和拐点值

Table 1 Function types and inflection point of chemical components of flue-cured tobacco

化学成分 (%) Chemical component	函数类型 Function type	下临界值 (x_1) Low limit	上临界值 (x_2) Upper limit	最优值下限 (x_3) Optimal low limit	最优值上限 (x_4) Optimal upper limit
总糖 Total sugar	P	10.0	35.0	20.0	28.0
还原糖 Reducing sugar	P	10.0	30.0	19.0	25.0
烟碱 Nicotine	P	1.0	3.5	2.0	2.5
总氮 Total nitrogen	P	1.1	3.0	1.8	2.0
氯 Chlorine	P	0.1	1.0	0.3	0.5
钾 Potassium	S	1.0	2.5		

表2 种植密度和施氮量对烟叶产量和产值的影响

Table 2 Effect of nitrogen level and planting density on the yield and output value of flue-cured tobacco

处理 Treatment	产量 Yield (kg/hm ²)				产值 Output (yuan/hm ²)			
	B1	B2	B3	平均值 Mean	B1	B2	B3	平均值 Mean
A1	2064.00	2284.85	2380.00	2242.95 a	41805.42	45338.06	49668.18	45603.89 A
A2	2060.70	2296.70	2359.10	2238.83 a	40836.25	48278.91	48572.41	45895.86 A
A3	2153.50	2247.45	2351.95	2250.97 a	43488.54	44517.63	45744.42	44583.53 B
平均值 Mean	2092.73 B	2276.33 AB	2363.68 A		42043.40 B	46044.87 AB	47995.00 A	

注 (Note) : A—密度 Plant density (A1, 16667 plant/hm²; A2, 18182 plant/hm²; A3, 20000 plant/hm²). B—施氮量 N application rate (B1, 105 kg/hm²; B2, 120 kg/hm²; B3, 135 kg/hm²). 数据后不同小、大写字母分别表示差异达 5%、1% 显著水平 Values followed by different small and capital letters means significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

量、产值极显著高于 B1, 这表明适当的减氮 (B2 处理), 其产量和产值与高施氮量没有显著差异。以上分析说明, 与习惯的种植密度和施氮量相比, 推荐的种植密度和施氮量可以维持或提高烤烟的产量和产值。

2.2 种植密度和施氮量对烟叶化学成分的影响

由表 3 可知, 总糖含量三个密度处理之间差异不显著, 还原糖含量 A3 处理显著高于 A2 和 A1 处理。烟碱含量各处理表现为 A1 > A2 > A3, 总氮含量各处理是 A3 > A2、A1, 钾含量各处理是 A3、A2 > A1, 氯含量各处理是 A2 > A3 > A1, 三者之间差异显著。从化学成分可用性指数 (CCUI) 看, A2 处

理显著高于 A3 和 A1 处理, 表明适中密度的化学成分可用性指数最高。

由表 4 可知, 总糖和还原糖含量是 B1 > B2 > B3, 三者之间差异显著; 烟碱、总氮、钾和氯含量是 B3 > B2 > B1, 三者之间差异显著。从化学成分可用性指数看, B2 > B3 > B1, 三者之间差异显著, 表明适中施氮量的化学成分可用性指数最高。

2.3 种植密度和施氮量组合对烟叶化学成分的影响

由表 5 可知, 从总糖和还原糖含量看, 以 A3B1 处理最高, 其次是 A2B1 处理, A1B3 处理最低, 不同处理之间差异不显著。不同处理之间烟碱含量差异显著, 以 A1B3 处理最高, 其次是 A2B3、A1B2、

表3 不同种植密度下烟叶化学成分含量

Table 3 Chemical component contents of flue-cured tobacco under different planting densities

处理 Treatment	总糖 (%)	还原糖 (%)	烟碱 (%)	总氮 (%)	钾 (%)	氯 (%)	CCUI	CCUI 排序 CCUI order
	Total sugar	Reducing sugar	Nicotine	Total N	K	Cl		
A1	31.62 ± 4.07 a	26.58 ± 3.22 b	2.69 ± 0.34 a	2.36 ± 0.34 b	2.33 ± 0.33 b	0.23 ± 0.05 c	66.75 ± 2.92 b	2
A2	32.28 ± 4.10 a	27.49 ± 3.69 b	2.50 ± 0.29 b	2.40 ± 0.22 b	2.43 ± 0.22 a	0.32 ± 0.08 a	75.42 ± 1.08 a	1
A3	32.99 ± 4.46 a	29.39 ± 2.16 a	2.33 ± 0.19 c	2.45 ± 0.24 a	2.46 ± 0.24 a	0.28 ± 0.08 b	64.87 ± 3.46 b	3

注 (Note) : A—密度 Plant density (A1, 16667 plant/hm²; A2, 18182 plant/hm²; A3, 20000 plant/hm²). CCUI—化学成分可用性指数 Chemical components usability index. 数据后不同小写字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different small letters mean significant difference at 0.05 level.

表4 不同施氮量下烟叶化学成分含量

Table 4 Contents of chemical components of flue-cured tobacco under different nitrogen levels

处理 Treatment	总糖 (%)	还原糖 (%)	烟碱 (%)	总氮 (%)	钾 (%)	氯 (%)	CCUI	CCUI 排序 CCUI order
	Total sugar	Reducing sugar	Nicotine	Total N	K	Cl		
B1	36.08 ± 0.88 a	30.95 ± 0.82 a	2.22 ± 0.12 c	2.12 ± 0.13 c	2.22 ± 0.13 c	0.24 ± 0.05 c	65.44 ± 3.20 c	3
B2	33.04 ± 0.80 b	27.59 ± 1.70 b	2.55 ± 0.16 b	2.35 ± 0.05 b	2.45 ± 0.05 b	0.27 ± 0.08 b	72.82 ± 2.71 a	1
B3	27.77 ± 0.46 c	24.92 ± 1.98 c	2.75 ± 0.27 a	2.64 ± 0.04 a	2.64 ± 0.04 a	0.31 ± 0.09 a	68.78 ± 2.49 b	2

注 (Note) : B—施氮量 N application rate (B1, 105 kg/hm²; B2, 120 kg/hm²; B3, 135 kg/hm²). 数据后不同小写字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different small letters mean significant difference at 0.05 level.

表 5 不同种植密度和施氮量组合下烟叶化学成分含量

Table 5 Content of chemical components in flue-cured tobacco under different N levels and planting densities

处理 Treatment	总糖 (%) Total sugar	还原糖 (%) Reducing sugar	烟碱 (%) Nicotine	总氮 (%) Total N	钾 (%) K	氯 (%) Cl	CCUI	CCUI 排序 CCUI order
A1B1	35.40 ± 2.67 a	30.01 ± 1.49 a	2.35 ± 0.16 bc	1.97 ± 0.19 d	1.99 ± 0.19 d	0.19 ± 0.07 b	65.97 ± 3.95 bc	4
A1B2	32.15 ± 2.48 a	26.12 ± 2.02 a	2.68 ± 0.23 b	2.48 ± 0.24 ab	2.39 ± 0.23 bc	0.28 ± 0.05 ab	72.68 ± 4.75 ab	3
A1B3	27.31 ± 2.49 a	23.62 ± 2.25 a	3.03 ± 0.20 a	2.62 ± 0.18 a	2.61 ± 0.18 a	0.22 ± 0.06 b	61.60 ± 3.86 c	9
A2B1	35.76 ± 2.28 a	31.31 ± 2.83 a	2.18 ± 0.28 c	2.17 ± 0.13 c	2.19 ± 0.13 c	0.23 ± 0.08 b	64.40 ± 2.70 bc	7
A2B2	33.32 ± 2.27 a	27.20 ± 2.60 a	2.61 ± 0.30 b	2.39 ± 0.19 bc	2.47 ± 0.18 b	0.34 ± 0.07 a	81.28 ± 3.58 a	1
A2B3	27.76 ± 2.46 a	23.95 ± 2.07 a	2.72 ± 0.23 b	2.64 ± 0.14 a	2.63 ± 0.14 a	0.38 ± 0.08 a	80.58 ± 4.79 a	2
A3B1	37.08 ± 2.63 a	31.52 ± 1.93 a	2.12 ± 0.18 c	2.20 ± 0.12 c	2.21 ± 0.11 c	0.29 ± 0.06 ab	65.95 ± 4.71 bc	5
A3B2	33.67 ± 2.43 a	29.46 ± 2.46 a	2.37 ± 0.25 bc	2.47 ± 0.20 ab	2.48 ± 0.19 b	0.19 ± 0.06 b	64.50 ± 3.51 bc	6
A3B3	28.23 ± 2.45 a	27.20 ± 2.70 a	2.50 ± 0.22 b	2.69 ± 0.13 a	2.63 ± 0.14 a	0.35 ± 0.08 a	64.16 ± 3.12 bc	8

注 (Note) : A—密度 Plant density (A1, 16667 plant/hm²; A2, 18182 plant/hm²; A3, 20000 plant/hm²). B—施氮量 N application rate (B1, 105 kg/hm²; B2, 120 kg/hm²; B3, 135 kg/hm²). 数据后不同小写字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different small letters mean significant difference at 0.05 level.

A2B2 和 A3B3 处理, A2B1 和 A3B1 处理相对较低。不同处理之间总氮含量差异显著, 以 A3B3、A2B3 和 A1B3 处理相对较高, A1B1 处理相对较低。不同处理之间钾含量差异显著, 以 A3B3 和 A2B3 处理相对较高, A1B1 处理相对较低。不同处理之间氯含量差异显著, 以 A2B3、A3B3 和 A2B2 处理相对较高, A1B3、A3B2 和 A1B1 处理相对较低。从化学成分可用性指数看, A2B2 最高, A2B3 次之, 两者显著高于其他处理, A1B3 处理最低。

2.4 种植密度和施氮量及其互作对烟叶化学成分的贡献率

将表 5 中 6 个化学成分的种植密度和施氮量及其互作的 η_p^2 乘以各自的权重, 求和, 并转换为百分率, 得出施氮量对烟叶化学成分的影响最大, 施氮量对烟叶化学成分的变异贡献率为 46.3%, 其次是种植密度, 为 30.1%, 而两者互作最低, 为 23.6% (表 6)。

3 讨论

目前, 南方烟稻轮作地区的烟农习惯采用稀植和大肥大水管理方式, 烤烟种植密度在 16667 株/hm² 以下, 施氮量在 N 135 kg/hm² 以上, 旨在通过提高单叶重、增加单株产量来获得较好经济效益。但这种方式烤烟用氮量高, 造成氮肥利用率低, 不但增加烤烟种植成本, 更加重环境污染的威胁。从本研究来看, 以 18182 株/hm² 烤烟化学成分可用性指数最高, 表明适当增加密度是可行的; 从施氮水平看, 以施氮量 120 kg/hm² 烤烟化学成分可用性指数最

高, 表明适当减少氮肥施用也是可行的。综合来看, 适当增加烤烟种植密度和减少氮肥施用可以改善烟叶化学成分协调性。但需要指出的是, 我国不同烟区的气候和土壤条件不同, 烤烟种植方式不同, 得出的化学成分指标隶属函数拐点值和权重可能也不同^[3-5], 导致其烤烟种植密度和施氮量不同。如张黎明等^[9]指出湖南省龙山烟区以施纯氮 120 kg/hm²、移栽密度为 15159 株/hm² 的烤烟产值最高; 张建^[10]认为贵州省毕节烟区以施纯氮 90 kg/hm²、移栽密度为 16230 株/hm² 的初烤烟叶产值、产量、外观质量等最佳; 杨跃华等^[13]提出云南省玉溪烟区烤烟种植密度 16680 株/hm² 及施氮量 90 kg/hm² 较适宜; 周文亮等^[22]研究表明广西自治区百色烟区烤烟合理种植密度 16680 株/hm² 及施氮量 112.5 kg/hm² 能够得到较好的经济效益和烟叶质量。本试验从烟叶化学成分研究认为, 邵阳稻茬烤烟以种植密度 18182 株/hm²、施氮量 120 kg/hm² 的烟叶化学成分可用性指数最高。上述结果表明各烟区在制定合理种植密度和施氮量方案时, 不能机械地照搬其他地方的模式, 必须充分考虑本地的实情, 通过大田试验获取适宜的参数。

一般可以用平方和 (SS) 或 F 值粗略比较多变量效应强弱^[23-25], 但 η_p^2 更能客观地反映变量效应强弱^[22-23]。本研究利用 η_p^2 值表明, 种植密度和施氮量及其互作对烟叶化学成分具有重要影响, 施氮量、种植密度、两者互作的影响分别约为 46%、30% 和 24%, 这表明在烤烟生产中, 同时考虑控制氮肥用量和适当提高种植密度, 是可以在稳定或提高产量的

表 6 种植密度和施氮量对烟叶化学成分的影响

Table 6 Effect of planting density and nitrogen level on chemical component of flue-cured tobacco

化学成分 Component	变异来源 Variation source	平方和 SS	均方 MS	F	P	η_p^2
总糖 Total sugar	种植密度 Density (D)	8.505	4.252	1.541	0.241	0.146
	施氮量 N level (N)	318.634	159.317	57.742	0.000	0.865
	D × N	1.274	0.319	0.115	0.975	0.025
还原糖 Reducing sugar	种植密度 Density (D)	37.004	18.502	17.374	0.000	0.659
	施氮量 N level (N)	163.963	81.981	76.982	0.000	0.895
	D × N	7.906	1.976	1.856	0.162	0.292
烟碱 Nicotine	种植密度 Density (D)	0.583	0.292	93.982	0.000	0.913
	施氮量 N level (N)	1.304	0.652	210.008	0.000	0.959
	D × N	0.095	0.024	7.619	0.001	0.629
总氮 Total N	种植密度 Density (D)	0.043	0.022	6.483	0.008	0.419
	施氮量 N level (N)	1.253	0.627	188.790	0.000	0.954
	D × N	0.084	0.021	6.336	0.002	0.585
钾 K	种植密度 Density (D)	0.087	0.043	13.106	0.000	0.593
	施氮量 N level (N)	1.253	0.627	188.790	0.000	0.954
	D × N	0.040	0.010	3.025	0.045	0.402
氯 Cl	种植密度 Density (D)	0.034	0.017	20.972	0.000	0.700
	施氮量 N level (N)	0.027	0.014	17.023	0.000	0.654
	D × N	0.057	0.014	17.683	0.000	0.797

前提下，改善烟叶化学成分的可用性。

烟叶化学成分指标在反映烟叶内在质量优劣的时候存在最优区间。单一指标或凭经验进行的判断难免会存在一定的偏差。采用隶属函数模型对化学成分指标进行归一化处理后获取综合得分(化学成分可用性指数)，不仅使复杂多指标问题得到简化，而且计算和判断更为便捷和客观。

4 结论

本研究表明，采用 η_p^2 能更为客观地定量分析种植密度和施氮量及其互作对烟叶化学成分的影响。种植密度和施氮量及其互作对烟叶化学成分的效应不一样，施氮量的影响最大(约 46.3%)，种植密度次之(约 30.1%)，两者互作最低(约 23.6%)。邵阳稻作烟区以种植密度 18182 株/hm²、施氮量 120 kg/hm² 烟叶化学成分可用性指数最高，其次是种植密度 18182 株/hm²、施氮量 135 kg/hm²，与我国南方和当地现行的种植密度(16675 株/hm²)和施氮量(N 135 kg/hm²)相比，就化学成分而言，增密减氮技术是可以用于烤烟种植生产的。

参 考 文 献:

- [1] 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.
Li C J, Zhang F S, Li W Q, et al. Nitrogen management and its relation to leaf quality in production of flue-cured tobacco in China[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(2): 331–337.
- [2] 邓小华, 周冀衡, 陈新联, 等. 烟叶质量评价指标的相关性研究[J]. 中国烟草学报, 2008, 14(2): 1–8.
Deng X H, Zhou J H, Chen X L, et al. Correlation analysis on evaluating indexes of quality of tobacco leaf[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2008, 14(2): 1–8.
- [3] 薛超群, 尹启生, 王信民, 等. 模糊综合评判在化学成分评价烟叶可用性中的应用[J]. 烟草科技, 2007, (4): 62–64.
Xue C Q, Yi Q S, Wang X M, et al. Application of fuzzy comprehensive judgment in tobacco leaf usability evaluating with chemical components[J]. Tobacco Science & Technology, 2007(4): 62–64.
- [4] 丁云生, 何悦, 曹金丽, 等. 大理州烤烟主要化学成分特征及其可用性分析[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(3): 13–18.
Ding Y S, He Y, Cao J L, et al. Chemical component characteristics and usability of flue-cured tobacco leaves in Dali Prefecture[J]. Chinese Tobacco Science, 2009, 30(3): 13–18.
- [5] 李伟, 邓小华, 周清明, 等. 基于模糊数学和GIS的湖南浓香型烤

- 烟化学成分综合评价[J]. 核农学报, 2015, 29(5): 946–953.
- Li W, Deng X H, Zhou Q M, et al. GIS and fuzzy mathematics-based chemical components usability of flue-cured tobacco leaves evaluation for strong-flavor type flue-cured tobacco in Hunan[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2015, 29(5): 946–953.
- [6] 张卫建. 对我国玉米绿色增产增效栽培技术的探讨: 增密减氮[J]. 作物杂志, 2015, (4): 1–4.
- Zhang W J. On the cultivation approach to green improvement of maize yield and N use efficiency in China: dense planting with less N fertilizer[J]. Crops, 2015(4): 1–4.
- [7] 谢小兵, 周雪峰, 蒋鹏, 等. 低氮密植栽培对超级稻产量和氮素利用率的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(10): 1591–1602.
- Xie X B, Zhou X F, Jiang P, et al. Effect of low nitrogen rate combined with high plant density on grain yield and nitrogen use efficiency in super rice[J]. Acta Agronomica Sinica, 2015, 41(10): 1591–1602.
- [8] 朱珊, 李银水, 余常兵, 等. 密度和氮肥用量对油菜产量及氮肥利用率的影响[J]. 中国油料作物学报, 2013, 35(2): 179–184.
- Zhu S, Li Y S, Yu C B, et al. Effects of planting density and nitrogen application rate on rapeseed yield and nitrogen use efficiency[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2013, 35(2): 179–184.
- [9] 张黎明, 李云. 种植密度与施氮量对烤烟生长发育及产质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(23): 12437–12438.
- Zhang L M, Li Y. Effects of planting density and nitrogen application rate on growth, development and yield, quality of flue-cured tobacco[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(23): 12437–12438.
- [10] 张建. 不同施氮量及栽培密度对烟叶质量的影响[J]. 贵州农业科学, 2008, 36(5): 59, 62.
- Zhang J. Effects of different nitrogen application amount and transplanting density on tobacco quality[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2008, 36(5): 59, 62.
- [11] 毛家伟, 张翔, 王宏, 等. 种植密度和氮用量对烟叶光合特性和产质量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(5): 66–70.
- Mao J W, Zhang X, Wang H, et al. Effects of planting density and nitrogen rate on photosynthetic characteristics, yield and quality of tobacco leaves[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2012, 30(5): 66–70.
- [12] 张喜峰. 密度和氮肥互作对烤烟生长及产质量的影响[J]. 农学学报, 2015, 5(4): 68–72.
- Zhang X F. Effects of interaction between nitrogen application rate and planting density on growth, yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Journal of Agriculture, 2015, 5(4): 68–72.
- [13] 杨跃华, 李军营, 邓小鹏. 云南烟区种植密度与施氮水平互作对烤烟生长及品质的影响[J]. 广东农业科学, 2012, 39(23): 49–52.
- Yang Y H, Li J Y, Deng X P. Effects of different planting density and nitrogen application rate on growth and quality of flue-cured tobacco in Yunnan[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012, 39(23): 49–52.
- [14] 刘晶, 荀正贵, 陈颖. 密度和纯氮用量对烤烟总氮和烟碱含量的影响[J]. 山地农业生物学报, 2008, 27(3): 195–199.
- Liu J, Gou Z G, Chen Y. Effects of plant population and N application level on total nitrogen and nicotine content of flue-cured tobacco[J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 2008, 27(3): 195–199.
- [15] 李永富, 邓小华, 宾波, 等. 湖南省邵阳烟区土壤有效锌含量时空特征及其影响因素[J]. 中国烟草学报, 2015, 21(1): 53–59.
- Li Y F, Deng X H, Bin B, et al. Spatial-temporal characteristics of available zinc content in tobacco-growing soil in Shaoyang of Hunan province and its influencing factors[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2015, 21(1): 53–59.
- [16] 邓小华, 邓卉青, 宾波, 等. 邵阳植烟土壤有机质含量时空特征及与其他土壤养分的关系[J]. 烟草科技, 2014, (6): 82–86.
- Deng X H, Deng J Q, Bin B, et al. Organic matter contents in soil of Shaoyang tobacco growing areas, their spatial-temporal characteristics and relations with other soil nutrients[J]. Tobacco Science & Technology, 2014(6): 82–86.
- [17] GB 2635-1992, 烤烟[S].
- GB 2635-1992, Flue-cured tobacco [S].
- [18] 吴杭亮, 何欢辉, 陈星峰, 等. SKALAR间隔流动分析仪在烟草化验分析上的应用[J]. 武夷科学, 2007, 23(12): 181–186.
- Wu H L, He H H, Chen X F, et al. Application of SKALAR segmented flow analyzer in tobacco chemical analysis[J]. Wuyi Science Journal, 2007, 23(12): 181–186.
- [19] 邓小华, 周冀衡, 杨虹琦, 等. 湖南烤烟外观质量量化评价体系的构建与实证分析[J]. 中国农业科学, 2007, 39(9): 2036–2044.
- Deng X H, Zhou J H, Yang H Q, et al. Construction and empirical analysis of evaluating quantitative system of the appearance quality of flue-cured tobacco in Hunan[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 39(9): 2036–2044.
- [20] 邓小华, 谢鹏飞, 彭新辉, 等. 土壤和气候及其互作对湖南烤烟部分中性挥发性香气物质含量的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(8): 2063–2071.
- Deng X H, Xie P F, Peng X H, et al. Effects of soil, climate, and their interaction on some neutral volatile aroma components in flue-cured tobacco leaves from high quality tobacco planting regions of Hunan Province[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(8): 2063–2071.
- [21] Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences [M]. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- [22] 周文亮, 赖洪敏, 黄瑾, 等. 百色烟区烤烟合理种植密度及施肥量研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(26): 12823–12826.
- Zhou W L, Lai H M, Huang J, et al. Studies on planting density and fertilizer application rate of flue-cured tobacco in Baise[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(26): 12823–12826.
- [23] 张喜峰, 张立新, 高梅, 等. 密度与氮肥互作对烤烟圆顶期农艺及经济性状的影响[J]. 中国烟草科学, 2012, 33(5): 36–42.
- Zhang X F, Zhang L X, Gao M, et al. Interaction between nitrogen application rate and planting density on agronomic and economic characters of flue-cured tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2012, 33(5): 36–42.
- [24] Cohen B H. Explaining psychological statistics[M]. New York: New York University, 2008.
- [25] 胡竹菁, 戴海琦. 方差分析的统计检验力和效果大小的常用方法比较[J]. 心理学探索, 2011, 31(3): 254–259.
- Hu Z Q, Dai H Q. The comparison for assessing methods of the effect size and statistical power of ANOVA[J]. Psychological Exploration, 2011, 31(3): 254–259.