

引用格式:

黄琼慧, 肖汉乾, 肖艳松, 江智敏, 徐均华, 胡庆辉, 向清慧, 邓小华. 稻茬烤烟减氮配施腐植酸碳肥的效应[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(5): 520–527.

HUANG Q H, XIAO H Q, XIAO Y S, JIANG Z M, XU J H, HU Q H, XIANG Q H, DENG X H. Effects of nitrogen reduction combined with humic acid carbon fertilizer application on flue-cured tobacco in rice-tobacco rotation[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2022, 48(5): 520–527.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



## 稻茬烤烟减氮配施腐植酸碳肥的效应

黄琼慧<sup>1,2</sup>, 肖汉乾<sup>2</sup>, 肖艳松<sup>3</sup>, 江智敏<sup>4</sup>, 徐均华<sup>4</sup>, 胡庆辉<sup>4</sup>, 向清慧<sup>1,2</sup>, 邓小华<sup>1,2\*</sup>

(1.湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128; 2.中国烟草中南农业试验站, 湖南 长沙 410004; 3.湖南省烟草公司郴州市公司, 湖南 郴州 423000; 4.浙江中烟工业有限责任公司, 浙江 杭州 310008)

**摘 要:**为减少稻茬烤烟化肥氮的施用量, 提高烟叶产量和质量, 以云烟 87 为材料, 研究施用腐植酸碳肥(全能有机碳肥、液态有机碳肥)后分别不减氮、减氮 10%、减氮 20% 和不施腐植酸碳肥与不减氮(CK), 对烤烟农艺性状和氮、磷、钾积累及烟叶理化特性、经济性状、氮肥偏生产力的影响。结果表明: 施用腐植酸碳肥可增加烟株高度和有效叶片数, 以液态有机碳肥促生长效果优于全能有机碳肥; 减氮会降低烟叶干物质积累量、单叶质量和烟叶厚度、烟叶糖含量和降低烟叶烟碱、总氮含量; 施用腐植酸碳肥, 可提高烟叶干物质积累量和比例, 提高氮、磷、钾积累量, 增加单叶质量、烟叶糖和钾含量, 降低烟碱和氯含量, 且可提高上等烟比例、产量、产值、氮肥偏生产力和偏生产效率; 与 CK 的上等烟比例、产量、产值、氮肥偏生产力、氮肥偏生产效率相比, 施用全能有机碳肥后减氮 10% 可分别提高 4.04%、6.54%、10.12%、27.89%、32.15%, 施用液态有机碳肥后减氮 20% 可分别提高 15.33%、2.87%、9.38%、28.61%、36.71%。在湖南稻茬烟区, 推荐施用全能有机碳肥(45 kg/hm<sup>2</sup>)后减氮 10%, 施用液态有机碳肥(75 kg/hm<sup>2</sup>)后减氮 20%。

**关 键 词:** 稻茬烤烟; 减氮; 腐植酸碳肥; 烤烟生长; 烟叶质量

中图分类号: S572.062

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2022)05-0520-08

## Effects of nitrogen reduction combined with humic acid carbon fertilizer application on flue-cured tobacco in rice-tobacco rotation

HUANG Qionghui<sup>1,2</sup>, XIAO Hanqian<sup>2</sup>, XIAO Yansong<sup>3</sup>, JIANG Zhimin<sup>4</sup>, XU Junhua<sup>4</sup>,  
HU Qinghui<sup>4</sup>, XIANG Qinghui<sup>1,2</sup>, DENG Xiaohua<sup>1,2\*</sup>

(1.College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.China Tobacco Mid-South Agriculture Experience Station, Changsha, Hunan 410004, China; 3.Chenzhou Tobacco, Hunan Tobacco Company, Chenzhou, Hunan 423000, China; 4.China Tobacco Zhejiang Industrial Co. Ltd, Hangzhou, Zhejiang 310008, China)

**Abstract:** In order to reduce the application rate of nitrogen fertilizer in tobacco-rice rotation area and improve the yield and quality of tobacco(*Nicotiana tabacum* L.), using Yunyan87 as the material, 7 treatments including humic acid fertilizers(all-round organic carbon fertilizer and liquid organic carbon fertilizer) respectively with no nitrogen reduction, nitrogen reduction by 10%, nitrogen reduction by 20% and a blank control(CK) were designed to study the effects of different treatments on the agronomic characteristics, the accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium, the physical and chemical properties of tobacco leaves, economic characteristics of tobacco, and on the partial factor productivity of nitrogen fertilizer. The results showed that the application of humic acid fertilizer could improve the agronomic characteristics(plant height and leaf number) of flue-cured tobacco, and liquid organic carbon fertilizer

收稿日期: 2022-02-28

修回日期: 2022-05-20

基金项目: 湖南省烟草专卖局项目(19-22Aa03)

作者简介: 黄琼慧(1999—), 女, 湖南永州人, 主要从事烟草栽培生理生化研究, [leacwet@foxmail.com](mailto:leacwet@foxmail.com); \*通信作者, 邓小华, 博士, 教授, 主要从事烟草科学与工程技术研究, [yzdxh@163.com](mailto:yzdxh@163.com)

showed better growth improve effect compared to all-round organic carbon fertilizer. Nitrogen reduction could decrease dry matter accumulation, single leaf weight and leaf thickness, increase sugar content and decrease contents of nicotine and total nitrogen. Humic acid fertilizer application increased the accumulation and percentage of dry matter, increased the accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium of tobacco leaves, increased the weight of single leaf, the sugar and potassium content of tobacco leaves, decreased the nicotine and chlorine content of the tobacco leaves, improve the proportion of high-quality tobacco, the yields, the output value, the nitrogen partial factor productivity and the nitrogen partial production efficiency. Compared to CK, the proportion of high-quality tobacco, yield, output value, nitrogen partial factor productivity and nitrogen partial production efficiency in treatment with all-round organic carbon fertilizer with 10% nitrogen reduction respectively increased by 4.04%, 6.54%, 10.12%, 27.89% and 32.15%; while the proportion of high-quality tobacco, yield, output value, nitrogen partial factor productivity and nitrogen partial production efficiency in treatment with liquid organic carbon fertilizer with 20% nitrogen reduction respectively increased by 15.33%, 2.87%, 9.38%, 28.16% and 36.71%. For the rice-tobacco rotation in Hunan province, it is recommended to apply all-round organic carbon fertilizer(45 kg/hm<sup>2</sup>) with 10% nitrogen reduction or apply liquid organic carbon fertilizer(75 kg/hm<sup>2</sup>) with 20% nitrogen reduction.

**Keywords:** paddy-tobacco; nitrogen reduction; humic acid carbon fertilizer; tobacco growth; tobacco leaf quality

烤烟栽培中碳氮平衡才能保证烤烟优质、适产<sup>[1-3]</sup>。南方稻作烟区降水量大<sup>[4]</sup>, 肥料流失严重, 烤烟栽培施氮量(160~180 kg/hm<sup>2</sup>)较高<sup>[5-6]</sup>, 不仅造成烟叶品质下降<sup>[7-8]</sup>, 而且流失的氮肥严重污染环境<sup>[9]</sup>, 减施氮肥和提高肥料利用率刻不容缓<sup>[7-9]</sup>。稻茬烤烟(指烟稻复种模式中的烤烟)和水稻栽培过程中大量施用化肥氮, 导致土壤碳氮失衡, 补充土壤碳素营养是提高耕地质量和提高肥料利用率的重要手段。以往主要采取秸秆还田<sup>[10-11]</sup>、种植绿肥<sup>[12-13]</sup>和施用生物炭<sup>[14]</sup>等方式补充碳肥, 而近年施用含有腐植酸的有机碳肥对碳-光-氮调节、改良土壤<sup>[15]</sup>、调控土壤微生物环境<sup>[16-17]</sup>、提高肥料利用效率<sup>[18]</sup>、促进作物生长<sup>[19-21]</sup>、提高作物产量和品质<sup>[22-23]</sup>、有“补碳增氮”效果<sup>[24]</sup>。桂丕等<sup>[24]</sup>研究认为, 碳营养已成为影响作物高产优质的短板, 施用含有腐植酸的有机碳肥可提高蔬菜碳氮代谢能力, 促进生长, 提高产量和品质; 赖根伟等<sup>[25]</sup>研究认为, 液态有机碳肥与有机碳菌肥结合施用可促进香榧地径、新梢生长; 付红梅等<sup>[26]</sup>研究发现, 施用含有腐植酸的有机碳肥能提高油茶林地土壤水解氮、有效磷、速效钾含量, 提高油茶产量。鉴于此, 笔者尝试在南方稻茬烤烟减氮栽培过程中配施液态有机碳肥和全能有机碳肥, 探讨其对于烤烟生长发育和干物质积累、烟叶物理特性和化学成分及经济性状的影响, 以期南方稻作烟区烤烟减氮增效提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

烤烟品种为云烟 87。腐植酸碳肥为山西奥德福

生物科技有限公司生产的全能有机碳肥和福建绿洲生化有限公司生产的液态有机碳肥。全能有机碳肥总氮 3.53%, 磷 1.21%, 钾 2.70%, 有机质 22.1%, 腐植酸 $\geq 3\%$ ; 液态有机碳肥的主要成分为黄腐酸, 是有机废水沉淀过滤后的浓缩液(相对密度 1.28~1.30, 在慢速定量滤纸自然过滤率 $\geq 95\%$ ), 总氮 2.02%, 磷 1.42%, 钾 2.31%, 有机质 24.4%, 水溶有机碳含量 $\geq 12.5\%$ 。

### 1.2 方法

试验于 2020 年在湖南省桂阳县梧桐村进行。地理坐标 25.73°N、112.72°E, 属于亚热带季风气候, 年平均气温 17.43 °C, 年平均降水量 1452.10 mm, 年平均日照时数 1494~1704 h。试验田为烤烟-晚稻复种轮作烟田, 土壤 pH7.71, 有机质 16.69 g/kg, 碱解氮 89.83 mg/kg, 速效磷 18.84 mg/kg, 速效钾 71.98 mg/kg。试验设 7 个处理: T1, 施全能有机碳肥, 不减氮; T2, 施全能有机碳肥, 减氮 10%; T3, 施全能有机碳肥, 减氮 20%; T4, 施液态有机碳肥, 不减氮; T5, 施液态有机碳肥, 减氮 10%; T6, 施液态有机碳肥, 减氮 20%; CK, 常规施肥, 不减氮, 不施腐植酸碳肥。腐植酸碳肥在烟株移栽时作定根水施用 1 次, 旺长期追施 1 次, 其中, 全能有机碳肥用量为 45 kg/hm<sup>2</sup>, 液态有机碳肥施用量为 75 kg/hm<sup>2</sup>, 稀释 300 倍后浇施。每个处理 3 次重复。共 21 个小区, 随机区组排列。小区面积为 48 m<sup>2</sup>。株行距为 1.2 m×0.5 m, 3 月中旬移栽。烤烟不减氮的施氮量为 162.16 kg/hm<sup>2</sup>, 氮、磷、钾质量比为 1 : 0.86 : 2.5, 其他处理采用调节专用基肥(氮、磷、钾

质量比为 8.0 : 10.0 : 11.0)、专用追肥(氮、磷、钾质量比为 10.0 : 0.0 : 32.0)和追施硫酸钾(50%K<sub>2</sub>O)的用量保证氮、磷、钾比例一致。初花期打顶,留叶 14~16 片。其他栽培管理措施与桂阳县烤烟标准化栽培一致。分别在烤烟移栽后 30、60、90 d 测量烟株农艺性状;在烤烟移栽后 75 d 测定干物质和氮、磷、钾养分积累量<sup>[27]</sup>;在烤烟烘烤后测定烟叶理化特性与经济性状、氮肥生产效率<sup>[28]</sup>等指标。

### 1.3 数据处理

运用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 进行数据处理和统计分析;采用 Duncan 法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 减氮配施腐植酸碳肥对烟株生长的影响

减氮配施腐植酸碳肥的烟株农艺性状测定结果列于表 1。移栽后 30 d,施用液态有机碳肥(T4、

T5、T6)烟苗的株高均大于施用全能有机碳肥(T1、T2、T3)的,且显著高于 CK 的;T4 的茎围显著大于 CK 的;施用腐植酸碳肥处理的最大叶面积均大于 CK 的,但只有 T1、T4、T6 的最大叶面积显著大于 CK 的。移栽后 60 d,除 T3、T6 以外,各处理的株高均显著高于 CK 的;T1、T4、T6 的茎围显著大于 CK 的;施用腐植酸碳肥处理的最大叶面积大于 CK 的,但差异不显著。移栽后 90 d, T1、T2、T4、T5、T6 的株高显著高于 CK 的;施用腐植酸碳肥处理的叶片数显著多于 CK 的,且最大叶面积均大于 CK 的,但差异不显著。施用腐植酸碳肥后,减氮 10%~20%与不减氮的农艺性状差异不显著。由此可见,施用腐植酸碳肥可增加烟株高度和有效叶片数,液态有机碳肥促生长效果优于全能有机碳肥的。

表 1 减氮配施腐植酸碳肥的烤烟农艺性状

移栽后时间/d	处理	株高/cm	茎围/cm	叶片数	最大叶面积/cm <sup>2</sup>
30	T1	(17.45±1.44)bc	(3.93±0.61)abc	7.00±0.00	(269.27±46.40)a
	T2	(18.10±0.96)bc	(3.40±0.17)bc	6.67±0.58	(210.30±18.15)abc
	T3	(17.10±2.13)bc	(3.23±0.23)c	6.33±0.58	(193.47±30.44)bc
	T4	(19.80±1.57)ab	(4.27±0.40)a	6.67±0.58	(250.35±33.14)ab
	T5	(20.35±0.31)ab	(3.70±0.36)abc	6.67±0.58	(253.42±15.47)abc
	T6	(21.55±2.39)a	(4.03±0.40)ab	6.67±0.58	(216.06±47.50)ab
	CK	(15.70±2.57)c	(3.37±0.25)bc	6.67±0.58	(179.23±21.96)c
60	T1	(89.61±3.25)ab	(9.27±0.50)a	15.33±1.15	1104.21±95.12
	T2	(88.23±1.06)ab	(8.50±0.26)bc	17.67±1.15	1050.56±151.89
	T3	(83.63±5.64)bc	(8.53±0.32)bc	17.00±1.73	1136.58±52.75
	T4	(90.57±3.95)a	(9.30±0.00)a	15.67±1.53	1113.55±159.39
	T5	(92.00±4.32)a	(8.33±0.15)bc	17.00±1.00	992.60±92.95
	T6	(87.92±1.88)abc	(8.63±0.40)b	15.67±0.58	1112.42±37.45
	CK	(81.42±2.78)c	(7.97±0.29)c	15.67±1.15	926.12±185.21
90	T1	(95.49±4.68)ab	9.47±0.58	(15.67±0.58)a	1399.79±231.46
	T2	(95.45±4.26)ab	9.50±0.30	(15.67±0.58)a	1344.97±79.42
	T3	(90.18±4.22)bc	9.17±0.71	(15.67±0.58)a	1336.31±184.74
	T4	(100.40±6.26)a	9.30±0.50	(15.33±0.58)a	1493.94±189.97
	T5	(96.71±4.12)ab	9.47±0.21	(15.33±0.58)a	1441.06±201.72
	T6	(95.49±3.24)ab	9.30±0.10	(15.33±0.58)a	1354.68±133.48
	CK	(87.89±1.40)c	9.23±0.38	(14.33±0.58)b	1287.28±164.78

同列不同字母表示同一移栽时间处理间的差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

### 2.2 减氮配施腐植酸碳肥对烟株干物质积累及器官分配的影响

减氮配施腐植酸碳肥的烟株干物质积累量及

分配比例结果列于表 2。不同处理间的干物质积累量存在差异,随着减氮量的增加呈下降趋势。T1、T2、T4 的总干物质积累量高于 CK 的,但只有 T1、

T4 的总干物质积累量显著高于 CK 的。叶的干物质积累分配比例最大，且 T1、T2、T4、T5 的叶干物质积累量显著高于 CK 的，叶干物质积累量随减氮量增加而降低。不配施腐植酸碳肥的对照根系干物质积累量较高。施用腐植酸碳肥可有效提高干物质积累总量，减氮会导致烟株干物质积累量降低，但减氮处理与 CK 无明显差异。由此可见，适量减氮配施腐植酸碳肥可增加叶干物质积累量。

表 2 减氮配施腐植酸碳肥的烤烟干物质积累量和分配比例

Table 2 Dry matter accumulation and distribution in flue-cured tobacco treated with nitrogen reduction and humic acid carbon fertilizer							
处理	干物质积累量/g			每株总干物 质量/g	干物质分配比例/%		
	根	茎	叶		根	茎	叶
T1	(58.05±0.76)c	(57.84±0.93)a	(191.95±5.69)a	(307.84±7.32)a	(18.86±0.22)bc	(18.79±0.16)bc	(62.34±0.38)ab
T2	(75.71±2.12)a	(59.25±0.37)a	(153.06±2.40)b	(288.02±4.71)ab	(26.28±0.35)a	(20.57±0.24)ab	(53.14±0.16)c
T3	(70.32±1.06)b	(53.48±1.08)c	(141.82±2.03)c	(265.62±4.15)c	(26.47±0.02)a	(20.13±0.10)ab	(53.39±0.09)c
T4	(48.95±0.60)d	(54.75±1.50)bc	(189.21±9.01)a	(292.86±11.10)a	(16.72±0.43)c	(18.70±0.20)bc	(64.58±0.63)a
T5	(43.75±0.97)e	(42.85±0.92)d	(158.77±8.64)b	(245.37±10.37)c	(17.84±0.42)bc	(17.47±0.43)c	(64.69±0.85)a
T6	(48.88±0.53)d	(52.94±0.39)c	(147.98±2.64)c	(249.80±3.54)c	(19.57±0.07)b	(21.19±0.16)a	(59.23±0.22)b
CK	(73.27±2.36)a	(55.72±0.76)b	(141.18±28.89)c	(270.17±28.66)bc	(27.30±3.27)a	(20.75±2.29)a	(51.88±5.55)c

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

2.3 减氮配施腐植酸碳肥对烟株和烟叶氮、磷、钾积累的影响

由表 3 可知，随着减氮量的增加，烤烟氮积累量减少；除 T6 外，施用腐植酸碳肥的处理烟株和烟叶氮积累量显著高于 CK 的；施用腐植酸碳肥处理(T1、T2、T3、T4、T5)较 CK 的烟株氮积累量分别多 102.14%、54.26%、42.82%、45.03%、42.60%。从表 4 可知，随着减氮量的增加，烟叶磷的分配比例显著减少；施用腐植酸碳肥的 T1、T2、T4、T5

的烟株磷的积累量显著高于 CK 的，较 CK 的烟株磷积累量分别多 15.57%、36.92%、30.38%、15.29%。从表 5 可知，随着减氮量的增加，烤烟钾积累量减少；施用腐植酸碳肥的 T1、T2、T4、T5 的烟株钾积累量显著高于 CK 的，较 CK 的烟株钾积累量分别多 17.50%、13.13%、10.39%、3.75%。说明减施氮肥会减少烤烟对氮、钾的积累，施用腐植酸碳肥可提高烟叶对氮、磷、钾的积累。

表 3 减氮配施腐植酸碳肥的烤烟氮积累量和分配比例

Table 3 Nitrogen accumulation and distribution in flue-cured tobacco treated with nitrogen reduction and humic acid carbon fertilizer							
处理	氮积累量/(kg·hm <sup>-2</sup> )			总氮含量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	分配比例/%		
	根	茎	叶		根	茎	叶
T1	(773.72±77.08)a	(826.14±0.42)a	(4515.92±251.05)a	(6115.78±327.51)a	(12.63±0.01)c	(13.53±0.01)d	(73.84±0.01)a
T2	(636.70±14.73)d	(797.65±2.16)ab	(3232.82±138.07)b	(4667.17±125.52)b	(13.65±0.01)c	(17.09±0.00)c	(69.25±0.01)a
T3	(850.82±58.43)b	(771.55±44.62)b	(2698.62±27.44)b	(4320.99±44.08)b	(19.67±0.02)b	(17.85±0.02)c	(62.46±0.02)b
T4	(508.54±2.85)e	(706.05±25.24)c	(3173.50±1014.91)b	(4388.09±840.14)b	(11.98±0.23)c	(16.59±0.27)c	(71.36±0.60)a
T5	(487.47±5.49)e	(638.44±39.81)d	(3188.45±419.80)b	(4314.39±457.37)b	(11.36±0.03)c	(14.85±0.02)cd	(73.79±0.05)a
T6	(579.21±4.77)d	(680.23±9.16)cd	(1749.32±56.31)c	(3008.79±60.91)c	(19.25±0.01)b	(22.61±0.03)b	(58.14±0.01)b
CK	(921.41±7.46)a	(842.73±27.61)a	(1261.43±147.16)c	(3025.57±112.26)c	(30.48±0.02)a	(27.89±0.05)a	(41.60±0.12)c

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

表 4 减氮配施腐植酸碳肥的烤烟磷积累量和分配比例

Table 4 Phosphorus accumulation and distribution in flue-cured tobacco treated with nitrogen reduction and humic acid carbon fertilizer							
处理	磷积累量/(kg·hm <sup>-2</sup> )			总磷含量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	分配比例/%		
	根	茎	叶		根	茎	叶
T1	(88.06±9.38)c	(97.34±10.48)e	(343.47±1.04)b	(528.87±17.95)b	(16.65±0.03)c	(18.41±0.03)b	(64.94±0.06)a
T2	(145.90±14.44)a	(127.73±1.96)a	(352.96±25.73)b	(626.59±38.29)a	(23.82±0.01)b	(20.38±0.04)b	(56.33±0.03)b
T3	(115.92±5.99)b	(114.29±6.28)bc	(247.55±2.77)c	(477.76±14.98)bc	(24.26±0.00)ab	(23.92±0.02)a	(51.81±0.01)c
T4	(90.50±7.61)c	(106.54±1.36)cd	(399.59±3.70)a	(596.63±10.08)a	(15.17±0.02)c	(17.86±0.03)b	(66.97±0.02)a
T5	(80.34±5.58)cd	(100.02±2.02)de	(347.24±16.77)b	(527.60±9.22)b	(15.23±0.03)c	(18.96±0.01)b	(65.82±0.05)a
T6	(70.93±5.16)d	(115.95±1.49)b	(261.09±37.20)c	(447.97±40.91)c	(15.83±0.02)c	(25.88±0.10)a	(58.28±0.10)b
CK	(117.34±7.55)b	(120.81±3.48)ab	(219.47±48.95)c	(457.62±59.33)c	(25.64±0.04)a	(26.40±0.09)a	(47.96±0.20)c

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

表 5 减氮配施腐植酸碳肥的烤烟钾积累量和分配比例

Table 5 Potassium accumulation and distribution in flue-cured tobacco treated with nitrogen reduction and humic acid carbon fertilizer

处理	钾积累量/(kg·hm <sup>-2</sup> )			总钾含量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	分配比例/%		
	根	茎	叶		根	茎	叶
T1	(926.48±64.51)c	(1739.55±0.00)c	(5649.78±213.31)a	(8315.81±277.82)a	(11.13±0.00)b	(20.93±0.01)c	(67.94±0.00)b
T2	(1256.91±0.00)a	(2048.06±65.85)a	(4701.51±170.09)c	(8006.48±235.94)ab	(15.70±0.00)a	(25.58±0.00)a	(58.72±0.00)e
T3	(1077.19±78.14)b	(1642.73±59.43)d	(4265.26±0.00)d	(6985.18±70.67)d	(15.41±0.02)a	(23.51±0.01)b	(61.07±0.00)d
T4	(718.43±0.00)e	(1646.62±0.00)d	(5447.74±210.27)a	(7812.79±210.27)b	(9.20±0.00)c	(21.08±0.00)c	(69.71±0.01)a
T5	(726.32±0.00)e	(1536.16±0.00)e	(5080.64±0.00)b	(7343.12±0.00)c	(9.89±0.00)c	(20.92±0.00)c	(69.18±0.00)ab
T6	(811.49±0.00)d	(1762.01±58.83)c	(4640.42±164.45)c	(7213.92±144.33)cd	(11.25±0.00)b	(24.43±0.01)b	(64.32±0.02)c
CK	(1122.38±81.42)b	(1890.29±0.00)b	(4064.85±156.89)d	(7077.52±135.91)d	(15.85±0.03)a	(26.72±0.00)a	(57.42±0.02)e

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

## 2.4 减氮配施腐植酸碳肥对烟叶物理特性的影响

减氮配施腐植酸碳肥的烟叶物理特性的测定结果如表 6 所示。减施氮肥会降低单叶质量,施用腐植酸碳肥有利于提高上部烟叶(B2F)的单叶质量(T1、T2、T4、T5、T6 的单叶质量均显著高于 CK 的)。减施氮肥会降低叶片厚度,施用腐植酸碳肥提高了下部烟叶(X2F)的叶片厚度(显著高于 CK 的),施液态有机碳肥可提高中部烟叶(C3F)和上部烟叶

(B2F)的叶片厚度(T4、T5、T6 的叶片厚度显著高于 CK 的)。不同处理的平衡含水率虽存在显著差异,但规律性不明显。T4 的 X2F 等级叶质重显著高于其他处理的;施用腐植酸碳肥的 C3F、B2F 等级叶质重显著低于 CK 的。由此可见,减氮会降低单叶质量、烟叶厚度;施用腐植酸碳肥可提高上部烟叶的单叶质量和下部烟叶的叶片厚度,降低中部和上部烟叶的叶质重。

表 6 减氮配施腐植酸碳肥的烟叶的物理特性

Table 6 Physical parameter values of flue-cured tobacco treated with nitrogen reduction and humic acid carbon fertilizer

烟叶等级	处理	宽长比	单叶质量/g	含梗率/%	叶片厚度/mm	平衡含水率/%	叶质重/(mg·cm <sup>-2</sup> )
X2F	T1	0.39±0.02	(8.33±1.42)ab	34.18±0.76	(0.13±0.00)c	(16.16±0.06)b	(64.67±20.97)bc
	T2	0.36±0.03	(8.10±0.37)abc	33.22±2.59	(0.12±0.01)c	(14.72±0.05)cd	(70.33±5.53)bc
	T3	0.35±0.01	(7.44±0.71)c	31.87±0.99	(0.11±0.00)d	(18.13±0.10)a	(74.67±11.85)bc
	T4	0.39±0.04	(9.63±1.34)a	31.77±4.08	(0.18±0.01)a	(11.38±0.61)e	(91.33±2.52)a
	T5	0.38±0.03	(7.49±0.44)bc	30.31±1.13	(0.16±0.00)b	(16.09±0.72)b	(78.33±14.64)b
	T6	0.37±0.01	(7.24±0.69)bc	30.57±2.59	(0.15±0.01)b	(15.59±0.98)bc	(55.67±1.26)c
	CK	0.38±0.01	(7.88±1.10)abc	33.38±0.71	(0.08±0.01)e	(15.12±0.48)d	(70.50±3.77)bc
C3F	T1	0.31±0.02	15.14±1.09	32.18±2.53	(0.14±0.00)d	(13.76±1.65)a	(85.17±13.88)b
	T2	0.31±0.01	14.96±2.45	32.35±1.18	(0.14±0.00)d	(14.05±0.08)a	(87.17±18.34)b
	T3	0.34±0.02	12.20±2.37	31.52±0.91	(0.13±0.01)d	(13.74±1.32)a	(87.00±23.02)b
	T4	0.33±0.03	15.92±3.33	33.76±3.13	(0.20±0.01)a	(11.34±0.90)b	(89.83±6.79)b
	T5	0.32±0.02	15.41±1.60	30.01±3.73	(0.19±0.01)b	(14.67±1.19)a	(86.33±2.02)b
	T6	0.34±0.01	14.13±0.97	32.70±0.22	(0.17±0.01)c	(14.83±0.28)a	(105.00±4.00)b
	CK	0.34±0.01	14.40±2.42	29.43±3.69	(0.14±0.01)d	(14.99±0.45)a	(122.33±2.25)a
B2F	T1	0.33±0.02	(21.45±2.10)a	29.62±2.79	(0.23±0.00)c	(14.52±0.12)a	(101.50±22.59)c
	T2	0.33±0.01	(18.28±1.36)ab	31.56±1.17	(0.19±0.01)d	(12.17±0.54)bc	(109.00±15.26)c
	T3	0.35±0.01	(17.06±2.77)abc	34.15±2.40	(0.18±0.00)d	(11.43±0.47)bc	(100.33±14.97)c
	T4	0.33±0.01	(21.11±3.51)ab	34.32±1.35	(0.37±0.03)a	(10.48±1.19)c	(102.50±9.34)c
	T5	0.34±0.02	(18.05±1.46)ab	33.75±1.40	(0.31±0.02)b	(12.06±1.55)bc	(113.33±10.41)bc
	T6	0.33±0.01	(18.69±2.76)ab	33.47±3.39	(0.30±0.01)b	(12.82±1.49)ab	(124.33±10.89)b
	CK	0.34±0.00	(16.68±1.62)c	32.03±2.53	(0.21±0.01)c	(14.62±0.20)a	(134.33±0.29)a

同列不同字母表示同等级烟叶处理间的差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

2.5 减氮配施腐植酸碳肥对烟叶化学成分的影响

减氮和施用腐植酸碳肥影响烟叶化学成分,表 7 结果表明,在施用腐植酸碳肥处理中,随减氮量增加,烟叶总糖和还原糖含量降低;施用腐植酸碳肥烟叶的总糖、还原糖含量除 T1 外,各处理均显著高于 CK 的。随减氮量增加,烟叶的烟碱和总氮含量降低;施用腐植酸碳肥烟叶中的烟碱和总氮含量显

著低于 CK 的。施用腐植酸碳肥烟叶钾含量显著高于 CK 的,氯含量显著低于 CK 的。腐植酸碳肥处理之间的化学成分虽有差异,但规律不明显。由此可见,减氮可提高烟叶糖含量和降低烟叶的烟碱、总氮含量,施用腐植酸碳肥可增加烟叶中的总糖、还原糖、钾含量,降低烟碱、总氮、氯的含量;不同腐植酸碳肥对烟叶化学成分的影响没有显著差异。

表 7 减氮配施腐植酸碳肥的烟叶的化学成分

Table 7 Chemical components of flue-cured tobacco treated with nitrogen reduction and humic acid carbon fertilizer							
等级	处理	总糖/%	还原糖/%	烟碱/%	总氮/%	钾/%	氯/%
X2F	T1	(27.66±1.33)c	(26.82±1.38)cd	(1.70±0.01)b	(1.54±0.13)b	(2.43±0.05)a	(0.66±0.01)b
	T2	(34.91±1.61)a	(27.22±1.03)c	(1.66±0.03)b	(1.45±0.57)bc	(2.17±0.29)b	(0.42±0.01)c
	T3	(36.03±1.55)a	(33.68±0.39)a	(1.16±0.09f	(1.41±0.03)c	(2.04±0.19)c	(0.42±0.01)c
	T4	(29.88±0.77)b	(28.57±0.99)b	(1.40±0.03)c	(1.49±0.02)bc	(2.30±0.11)ab	(0.37±0.03)c
	T5	(30.38±0.20)b	(29.17±0.30)b	(1.31±0.02)d	(1.47±0.13)bc	(2.43±0.03)a	(0.40±0.01)c
	T6	(31.17±0.61)b	(29.94±1.07)b	(1.21±0.02e	(1.25±0.11)d	(2.23±0.19)b	(0.28±0.01)d
	CK	(27.56±0.21)c	(26.7±0.12)d	(1.78±0.06)a	(1.71±0.03)a	(1.98±0.44)d	(0.84±0.01)a
C3F	T1	(22.44±1.11)cd	(20.44±1.42)cd	(2.84±0.07)bc	(1.82±0.01)b	(2.08±0.01)a	(0.54±0.01)c
	T2	(23.36±0.88)c	(21.56±1.09)c	(2.81±0.08)bc	(1.77±0.12)c	(2.11±0.11)a	(0.54±0.00)c
	T3	(26.24±0.42)b	(24.78±0.99)a	(2.70±0.06)c	(1.81±0.06)b	(2.17±0.11)a	(0.68±0.00)b
	T4	(25.20±0.48)b	(22.73±0.59)b	(2.98±0.14)b	(1.76±0.09)c	(2.17±0.11)a	(0.50±0.04)c
	T5	(25.51±1.10)b	(23.08±0.26)b	(2.79±0.02)c	(1.70±0.02)c	(2.04±0.04)a	(0.52±0.02)c
	T6	(28.22±2.24)a	(24.71±1.00)a	(2.46±0.10)d	(1.75±0.10)c	(2.04±0.04)a	(0.35±0.01)d
	CK	(21.88±0.60)d	(19.95±0.20)d	(3.20±0.02)a	(1.94±0.03)a	(1.92±0.03)b	(0.76±0.02)a
B2F	T1	(21.48±0.80)bc	(17.11±0.29)bc	(3.43±0.03)b	(2.19±0.01)b	(2.06±0.19)a	(0.68±0.01)b
	T2	(23.64±1.16)a	(18.64±0.82)b	(3.44±0.10)b	(2.18±0.11)b	(1.92±0.11)a	(0.58±0.01)c
	T3	(24.03±0.51)a	(19.07±0.20)a	(3.30±0.14)bc	(2.13±0.01)b	(2.11±0.11)a	(0.48±0.02)d
	T4	(20.37±0.51)d	(18.50±0.25)b	(3.32±0.08)bc	(2.14±0.09)b	(2.04±0.00)a	(0.70±0.02)b
	T5	(21.80±0.97)b	(19.01±0.21)a	(3.26±0.13)c	(2.14±0.15)b	(1.89±0.11)b	(0.56±0.07)c
	T6	(22.91±0.72)b	(19.35±0.49)a	(3.18±0.01)d	(1.96±0.05)c	(1.91±0.11)b	(0.42±0.01)d
	CK	(19.24±0.44)c	(16.33±0.69)c	(3.55±0.04)a	(2.39±0.10)a	(1.75±0.03)c	(0.80±0.01)a

同列不同字母表示同等级烟叶处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

2.6 减氮配施腐植酸碳肥对烤烟经济性状的影响

减氮和施用腐植酸碳肥影响烤烟经济性状。表 8 结果表明,施用腐植酸碳肥的上等烟比例高于 CK 的,但只有 T2、T4、T5、T6 的上等烟比例显著高于 CK 的;施液态有机碳肥的上等烟比例高于全能有机碳肥的,T6 的上等烟比例显著高于 T1、T2、T3 的。随减氮量增加,烟叶的产量和产值降低(T6 除外);除 T3 外,施用腐植酸碳肥的烟叶产量和产值显著高于 CK 的。与 CK 相比,施用腐植酸碳肥的(T1、T2、T3、T4、T5、T6)上等烟比例分别提高

2.07%、4.04%、1.52%、6.32%、5.37%、15.33;施用腐植酸碳肥的 T1、T2、T4、T5、T6 的产量分别高 14.14%、6.54%、6.96%、4.64%、2.87%,产值分别高 17.09%、10.12%、11.54%、9.33%、9.38%。由此可见,减氮会降低烟叶产量、产值,施用腐植酸碳肥可提高上等烟比例,增加烟叶产量和产值。施用腐植酸碳肥可减轻由于减氮所带来的产量和产值降低的影响,施用液态有机碳肥的上等烟比例优于全能有机碳肥的。

表 8 减氮配施腐植酸碳肥的烤烟的经济性状

处理	上等烟比例/%	均价/(元·kg <sup>-1</sup> )	产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	产值/(元·hm <sup>-2</sup> )
T1	(61.58±5.79)c	27.15±0.66	(2817.71±169.41)a	(76 446.25±727.66)a
T2	(62.77±0.60)b	27.34±0.01	(2630.21±16.83)ab	(71 896.56±971.24)b
T3	(61.25±0.15)c	27.11±0.08	(2312.50±127.21)c	(62 666.67±1405.05)c
T4	(64.14±1.45)b	27.59±0.44	(2640.63±139.94)ab	(72 822.40±2689.22)b
T5	(63.57±1.12)b	27.60±0.41	(2583.34±183.02)b	(71 380.73±1644.42)b
T6	(69.58±1.61)a	28.12±0.01	(2539.58±120.01)b	(71 412.99±938.30)ab
CK	(60.33±0.01)c	26.50±1.41	(2468.75±191.51)c	(65 286.46±1583.62)c

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

## 2.7 减氮配施腐植酸碳肥对烤烟氮肥偏生产力和偏生产效率的影响

由表 9 可知,从氮肥偏生产力看,施用腐植酸碳肥的 T1、T2、T3、T4、T5、T6 的氮肥偏生产力较 CK 分别高 14.17%、27.89%、17.11%、6.99%、25.60%、28.61%,其中, T6、T5、T2 的相对较高。从氮肥偏生产效率看,施用腐植酸碳肥的氮肥偏生产效率较 CK 分别高 17.09%、32.15%、19.98%、11.54%、31.20%、36.71%,其中, T6、T5、T2 的相对较高。可见,适当减少氮肥配施腐植酸碳肥可提高烤烟氮肥偏生产力和氮肥偏生产效率;不同腐植酸碳肥对氮肥偏生产力和偏生产效率的影响没有显著差异。

表 9 减氮配施腐植酸碳肥的烤烟的偏生产力和偏生产效率

Table 9 Nitrogen fertilizer partial productivity and partial production efficiency of flue-cured tobacco treated with nitrogen reduction and humic acid carbon fertilizer

处理	氮肥偏生产力/(kg·kg <sup>-1</sup> )	氮肥偏生产效率/(元·kg <sup>-1</sup> )
T1	(17.48±0.79)b	(474.25±20.06)bc
T2	(19.58±0.83)a	(535.23±16.80)a
T3	(17.93±0.45)b	(485.96±25.42)b
T4	(16.38±1.06)bc	(451.77±22.41)c
T5	(19.23±1.31)a	(531.39±12.46)a
T6	(19.69±0.98)a	(553.70±15.43)a
CK	(15.31±1.22)c	(405.02±11.68)d

同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

## 3 结论与讨论

有机碳肥中的腐植酸主要成分为黄腐酸,其 C、H、O、N、S 元素组成分别为 54.82%、2.29%、41.14%、0.66%、1.09%。施用有机碳肥可提高土壤

碳氮比<sup>[29]</sup>,具有补充土壤碳短板的作用。本研究中的土壤是典型的“碳低氮高”的土壤,在这种土壤施用腐植酸碳肥可起到“锦上添花”的作用。本研究结果表明,施用腐植酸碳肥有利于烤烟营养生长,增加烟叶干物质积累量,增加烟叶中总糖、还原糖、钾含量,降低烟碱、总氮、氯含量,提高上等烟比例,增加烟叶产量、产值,提高烤烟氮肥偏生产力和氮肥偏生产效率,这与腐植酸碳肥易被直接吸收、提供烤烟合成糖类基础物质、调节烤烟碳-光-氮生理<sup>[16]</sup>、从而实现“补碳增糖”“提钾降碱”效果有关。2 种腐植酸碳肥对烟株干物质和氮、磷、钾的积累量、烟叶化学成分、氮肥偏生产力和偏生产效率的影响没有显著差异,但施用液态有机碳肥促生长和提高上等烟比例的效果优于全能有机碳肥的。

本研究结果表明,施用腐植酸碳肥后,提高了烤烟叶片中氮积累量、磷积累量、钾积累量,缓解了减氮对烤烟农艺性状的负作用,减轻了由于减氮所带来的产量和产值的损失,这主要与腐植酸碳肥的施用提供了构建烤烟体内各有机成分的必需碳架,从而实现碳与其他元素平衡,提高土壤中 N、P、K 等矿质营养元素的利用率,达到了“补碳增氮”效果<sup>[16]</sup>有关。腐植酸碳肥种类不同,其减氮效果不同。施用全能有机碳肥减氮 10%处理和施用液态有机碳肥减氮 20%处理的产量和产值均显著高于对照,且氮肥偏生产力和偏生产效率也显著高于对照,可见施用腐植酸碳肥后在氮肥施用量适当减少的情况下与 CK 相比依旧保持优势。综合来看,以施用液态有机碳肥减氮 20%处理的经济效益较佳。在稻作烟区,在烤烟减施化肥氮的同时,配施腐植酸碳肥,不仅可促进烤烟的生长和干物质积累,还能提升烟叶品质,提高烤烟产量和产值,具有一定

推广价值。

在稻茬烤烟减氮过程中配施腐植酸碳肥,可增加烟株高度和有效叶片数,有利于烤烟营养生长,促进烟叶干物质和氮、磷、钾积累,提高烟叶单叶质量、糖和钾含量,降低烟叶的烟碱和氯含量,提高烟叶上等烟比例和产量、产值,提高氮肥偏生产力和偏生产效率。本试验条件下,施用全能有机碳肥可减氮 10%,施用液态有机碳肥可减氮 20%。

#### 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.
- [2] 邓小华,张明发,田峰. 山地植烟土壤评价和烤烟高效施肥研究与实践[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2019.
- [3] COLLINS W K, HAWKS S N J. Principles of Flue-Cured Tobacco Production[M]. Raleigh: North Carolina State University, 1994.
- [4] 曹健,邓小华. 郴州浓香型特色优质烟叶生产与开发[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2006.
- [5] 王新月,肖汉乾,邓小华,等. 追肥氮量对稻茬烤烟生长和养分积累的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(2): 153–160.
- [6] 何铭钰,肖汉乾,邓小华,等. 浓香型稻茬烤烟生长和物质积累与养分利用效率[J]. 华北农学报, 2021, 36(4): 139–146.
- [7] 邓小华,杨丽丽,邹凯,等. 烟稻轮作模式下烤烟增密减氮的主要化学成分效应分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(4): 991–997.
- [8] 薛如君,高天,赵正雄,等. 氮肥减量滴灌对烤烟产质量及氮磷钾吸收利用的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2019, 34(5): 860–866.
- [9] 段淑辉,刘天波,张璐,等. 浏阳烟区烤烟氮素吸收利用特征[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(5): 28–33.
- [10] 周米良,邓小华,田峰,等. 玉米秸秆促腐还田的降解及对烤烟生长与产质量的影响[J]. 中国烟草学报, 2016, 22(2): 67–74.
- [11] 郑梅迎,刘玉堂,张忠锋,等. 秸秆还田方式对植烟土壤团聚体特征及烤烟产质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(6): 11–18.
- [12] 邓小华,何铭钰,陈金,等. 山地酸性土壤耕层重构的理化性状及酶活性动态变化[J]. 中国烟草科学, 2021, 42(4): 17–23.
- [13] 王新月,张敏,刘勇军,等. 改土物料混用对酸性土壤 pH 和烤烟生长及物质积累的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(11): 2626–2633.
- [14] 贾辉,赵亚鹏,符云鹏,等. 施用生物炭和秸秆对植烟土壤团聚体稳定性及有机碳分布的影响[J]. 烟草科技, 2020, 53(4): 11–19.
- [15] 陈明刚,向剑明,刘勇军,等. 垂直深旋耕配施有机碳肥对植烟土壤 pH 和物理性状及养分的影响[J]. 作物研究, 2020, 34(4): 349–353.
- [16] 廖宗文,毛小云,刘可星. 有机碳肥对养分平衡的作用初探——试析植物营养中的碳短板[J]. 土壤学报, 2014, 51(3): 656–659.
- [17] 张启明,陈仁霄,管成伟,等. 不同有机物料对土壤改良和烤烟产质量的影响[J]. 土壤, 2018, 50(5): 929–933.
- [18] 向清慧,肖汉乾,杨坤,等. 有机碳肥在作物生产上的应用研究进展[J]. 作物研究, 2020, 34(2): 196–200.
- [19] 柳沈辉,伍俊为,黄裕钧,等. 有机碳对嘉宝果地上部生长和叶绿素含量的影响[J]. 亚热带农业研究, 2018, 14(3): 177–180.
- [20] 刘保成,王百顺. 有机碳肥对花生产量及经济效益的影响[J]. 现代农业, 2019(4): 20–21.
- [21] 蒋宇仙,向清慧,黄杰,等. 施用液态有机碳肥对低温胁迫烟苗生长及生理生化特性的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(4): 399–405.
- [22] 陈秀莲,魏晓琼,吴德森. 液态有机碳肥对蔬菜品质的影响[J]. 中国果菜, 2014, 34(12): 67–69.
- [23] 张阳,王新月,陈舜尧,等. 不同促根剂对烟苗生长和部分生理指标的影响[J]. 湖南农业科学, 2022(3): 13–17.
- [24] 桂丕,陈炯,廖宗文,等. 不同氮水平下有机碳对蔬菜碳氮代谢及生长的影响[J]. 土壤学报, 2016, 53(3): 746–756.
- [25] 赖根伟,叶飞林,胡双台. 有机碳肥对香榧幼林生长影响研究初报[J]. 林业科技, 2017, 42(4): 10–12.
- [26] 付红梅,曹华,温从育. 有机碳肥对油茶林地土壤养分和产量的影响[J]. 江苏林业科技, 2017, 44(3): 31–34.
- [27] NY/T 2017—2011 植物中氮、磷、钾的测定[S].
- [28] 邓小华,陈冬林,周冀衡,等. 湖南烤烟物理性状比较及聚类评价[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(3): 63–68.
- [29] 杨丽丽,邓小华,徐文兵,等. 稻茬烤烟根区施用生物有机肥的效应[J]. 土壤, 2019, 51(1): 39–45.

责任编辑: 罗慧敏  
英文编辑: 罗维