

不同氮磷钾配施对烤烟石油醚提取物和中性致香物质的影响<sup>①</sup>刘国顺<sup>1</sup>, 张春华<sup>1</sup>, 代李鹏<sup>1</sup>, 宋晓华<sup>1</sup>, 石秋环<sup>2</sup>, 李永涛<sup>2</sup>, 张 雪<sup>2</sup>

(1 河南农业大学国家烟草栽培生理生化研究基地, 郑州 450002;

2 河南省烟草公司洛宁烟草分公司, 河南洛宁 471700)

**摘要:** 田间试验以烤烟 (*Nicotiana tabacum* L.) 品种中烟 100 为材料, 研究了 N、P、K 肥配施对烤烟石油醚提取物和致香物质含量的影响。结果表明: 不施肥处理烟叶石油醚提取物含量和致香物质总量及不同种类致香物质含量都较低; N、P、K 任意两种肥料配施均可以不同程度提高烤烟石油醚提取物和不同种类致香物质的含量; NPK 的配施, 随着施肥量的增加, 烤烟石油醚提取物含量也随着增加, 而致香物质含量呈现先增后减的抛物线现象。因此, N、P、K 的合理配施是提高烤烟石油醚提取物和致香物质的重要措施。由田间试验结果获取的推荐施肥方案为 N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O = 1 : 2 : 3, 其用量分别为 75 kg/hm<sup>2</sup>、150 kg/hm<sup>2</sup> 和 225 kg/hm<sup>2</sup>。

**关键词:** 烤烟; 石油醚提取物; 中性致香物质; 施肥**中图分类号:** X503

烤烟的石油醚提取物和致香物质含量是影响烤烟品质的重要因素<sup>[1-2]</sup>, 提高烤烟致香物质含量一直是烟草育种学家和栽培学家的研究焦点。烟叶品质主要受遗传因子、气候、土壤性状、栽培技术和烘烤技术等诸多因素的影响<sup>[3-4]</sup>。在土壤性状中, 以养分物质的影响最为直接, 且易进行人为调控<sup>[5]</sup>。营养问题是影响我国烟草品质的重要因子<sup>[6-7]</sup>, 而 N、P、K 是烤烟需求较多的营养元素, 对烟株的生长和烟叶产量与品质的形成具有重要作用<sup>[8]</sup>。目前关于烤烟的 N、P、K 施用量对烟叶产量和常规化学成分的影响方面已做了较多研究<sup>[9-12]</sup>, 但关于 N、P、K 不同配施角度对烤烟石油醚提取物和致香物质含量影响的研究甚少。通过分析烟叶致香物质含量, 可以对烟叶的香气质量进行客观和准确的评价。因此, 本研究采用田间试验探讨了 N、P、K 及其配施对烤烟石油醚提取物与致香物质含量的影响, 旨在为合理施肥, 提高烤烟品质提供理论依据和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验地位于河南省洛宁县东宋乡王岭现代烟草示范基地。供试烤烟品种为中烟 100, 土壤类型为褐土,

pH 为 7.29, 有机质含量为 13.24 g/kg, 碱解 N、速效 P 和速效 K 含量分别为 66.24、9.89 和 156.59 mg/kg。5 月 10 日移栽, 移栽密度 15000 株/hm<sup>2</sup>, 行距 120 cm, 株距 55 cm。田间种植管理除施肥因素外, 其他管理措施同一般大田, 按照豫西烟草种植标准化操作规程进行。

试验采用随机区组设计, 共设 7 个处理 (表 1), 各处理随机排列, 重复 3 次, 试验所用肥料分别为硝酸铵、重过磷酸钙和硫酸钾, 基肥和追肥按照 7 : 3 进行施肥, 基肥在移栽前进行开沟条施, 追肥在移栽后 25 天左右均匀穴施。

表 1 大田试验处理

Table 1 Treatments of field experiment

处理	施肥量 (kg/hm <sup>2</sup> )		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
CK (对照)	0	0	0
PK	0	150	225
NK	75	0	225
NP	75	150	0
N1P1K1	52.5	105	157.5
N2P2K2	75	150	225
N3P3K3	97.5	195	292.5

注: NPK 处理 N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O = 1 : 2 : 3。

①基金项目: 国家烟草专卖局重点项目 (110200401021) 资助。

作者简介: 刘国顺 (1954—), 男, 河南叶县人, 教授, 主要从事烟草栽培生理生化研究。E-mail: liugsh1851@163.com

## 1.2 测定项目与方法

1.2.1 烟叶样采集 取各施肥处理烤后烟叶 C<sub>3</sub>F 干样 2.0 kg。

1.2.2 石油醚提取物 石油醚提取物测定采用 YC/T 176-2003 的方法<sup>[13]</sup>。

1.2.3 致香物质分析 中性香味成分分析：采用内标法进行测定，同时蒸馏萃取仪和 HP5890 II-5972 气质联用仪 (GC/MS) 分析，内标为硝基苯 (称取 0.70000 g 硝基苯定容于 100 ml 容量瓶中，从中取 5 ml 用二氯甲烷定容于 100 ml 容量瓶中即可)。

在 500 ml 圆底烧瓶中加入 10.000 g 烟样，1.0 g 柠檬酸，500 μl 内标再加入 300 ml 蒸馏水，充分摇匀，再加 50 ml 蒸馏水冲洗瓶塞和烧瓶口。安装同时蒸馏萃取装置，然后从冷凝管上方加入 40 ml 二氯甲烷于 250 ml 烧瓶中，打开电热套，待样品开始沸腾，同时蒸馏萃取装置中开始出现分层时开始计时。2.5 h 后，收集有机相即 250 ml 烧瓶中的溶液，同时蒸馏萃取装置中的有机相也要收集。加入 10 g 左右无水硫酸钠摇匀干燥至溶液澄清，转移有机相到鸡心瓶。用二氯甲烷清洗无水硫酸钠 2 次，每次 15 ml 左右，再转移至鸡心瓶中，在转移有机相的过程中，不让无水硫酸钠进入鸡心瓶中，水浴浓缩鸡心瓶中的溶液至 1 ml 左右。

经前处理制备得到的分析样品，由 GC/MS 鉴定结果和 NIST02 库检索定性。GC/MS 分析条件如下：

GC/FID 条件：色谱柱：HP-5MS (30 m × 0.25 mm, i.d. × 0.25 μm d.f.)；柱温升温程序：初始温度 50℃ (保持 5 min)，以 5℃/min 升温至 120℃ (保持 5 min)，再以 5℃/min 升温 180℃ (保持 5 min)，最后以 6℃/min 升温至 250℃ (保持 15 min)。检测器温度 280℃；氢气、空气和尾气流量分别为 35、400、25 ml/min；载气为氮气；柱流量为 1.3 ml/min；进样体积为 2 μl；分流比为 8 : 1。

MS 条件：载气为 He；流速为 1.3 ml/min；传输线温度 280℃；离子源温度 177℃；电离能 70 eV；质量数范围：35 ~ 500 amu；MS 谱库为 NIST02。

定量分析：假定相对校正因子为 1，采用内标法定量。

## 2 结果与分析

### 2.1 氮磷钾肥配施对烤烟石油醚提取物的影响

烟叶石油醚提取物是用石油醚作溶剂，对烟叶样品进行萃取后得到的混合物，主要包括挥发油、树脂、油脂、脂肪酸、蜡质、类脂物、甾醇、色素等，这些

物质是形成烟草香气的重要成分<sup>[14]</sup>。烤烟石油醚提取物含量与烤烟的整体质量及香气量呈正相关，石油醚提取物含量高的烟叶其整体品质也较高<sup>[15]</sup>。图 1 表明，不同 N、P、K 配施处理烟叶石油醚含量均高于对照处理，PK、NK、NP、N1P1K1、N2P2K2、N3P3K3 处理分别较对照处理增加了 8.91%、13.92%、5.57%、22.82%、27.83% 和 35.06%。N、P、K 任意两种肥料配施处理烟叶石油醚含量为 56.90 ~ 61.37 g/kg，平均为 58.98 g/kg，与对照处理相比，提高了 5.57% ~ 13.92%，平均提高了 9.46%；其中 NK 处理增幅最大，提高了 13.92%；而 NP 处理增幅最小，提高了 5.57%。NPK 配施处理的石油醚含量为 66.23 ~ 72.80 g/kg，平均为 69.31 g/kg，与对照处理相比，提高了 22.82% ~ 29.58%，平均提高了 28.57%；其中 N3P3K3 处理增幅最大，比对照处理提高了 35.06%，N1P1K1 处理增幅最小，提高了 22.82%。

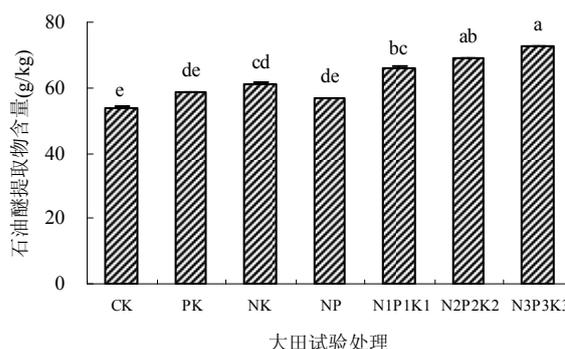


图 1 不同施肥处理对烤烟石油醚提取物含量的影响 (注：图中小写字母 a、b、c、d 表示处理间差异达到  $p < 0.05$  显著水平。)

Fig.1 Effects of different fertilizer treatments on contents of petroleum ether extracts of tobacco leaves

### 2.2 氮磷钾肥配施对烤烟中性致香物质的影响

经气相色谱/质谱 (GC/MS) 对烤后烟叶样品进行定性和定量分析，共检测出 27 种对烟叶香气有较大影响的化合物 (表 2)，把所测定的致香物质按烟叶香气前体物进行分类，可分为类胡萝卜素类、苯丙氨酸类、棕色化产物类、类西柏烷类等 4 类<sup>[14]</sup>。由表 2 可知，各施肥处理与对照处理相比，27 种中性香气物质的总含量均有不同程度的提高，提高了 17.13% ~ 120.28%，平均提高了 53.62%；高低趋势为 N2P2K2 > N3P3K3 > N1P1K1 > NK > PK > NP > CK，NPK 的配施处理烟叶致香物质总量为 986.48 ~ 1608.83 μg/g，平均为 1341.37 μg/g，比 N、P、K 两两任意配施处理高 131.01 ~ 665.19 μg/g，平均提高

了 438.84  $\mu\text{g/g}$ 。由此可见, N、P、K 的合理配施能显著 提高烟叶致香物质含量。

表 2 不同施肥对中性致香物质总量的影响 ( $\mu\text{g/g}$ )

Table 2 Effects of different fertilizer treatments on contents of total aroma constituents

致香物质种类	CK	PK	NK	NP	N1P1K1	N2P2K2	N3P3K3
类胡萝卜素降解物	46.6	51.22	49.12	52.32	54.95	118.19	65.69
苯丙氨酸降解物	6.81	7.74	11.97	8.59	12.31	88.56	10.02
棕色化产物类	12.15	18.99	20.34	18.65	19.42	62.26	19.02
西柏烷降解物	25.82	48.36	35.42	27.18	44.3	80.12	42.33
新植二烯及其他	638.97	782.17	826.79	748.73	855.5	1259.7	1291.75
总量	730.35	908.48	943.64	855.47	986.48	1608.83	1428.81

2.2.1 对烤后烟叶类胡萝卜素降解形成的香气物质含量影响 烟叶的中性挥发性香气成分中有一大部分化合物是类胡萝卜素降解产物, 其中有很多都是烟草中的重要致香成分<sup>[16]</sup>。由表 3 可知, 各施肥处理烟叶的类胡萝卜素类香气成分含量均高于对照处理, 增幅为 5.41% ~ 153.63%, 平均增幅为 40.02%, 其中以

N2P2K2 处理增幅最大, 达 153.63%; 所有的处理均为类胡萝卜素降解产物中  $\beta$ -大马酮含量最高, 占类胡萝卜素降解物总量的 22.65% ~ 47.77%, 平均占 39.19%; 其次是法尼基丙酮, 占类胡萝卜素降解物总量的 17.78% ~ 27.79%, 平均占 23.14%; 3-羟基- $\beta$ -二氢大马酮在对照处理中只有痕量存在。

表 3 不同施肥处理对类胡萝卜素降解产生香气物质的影响 ( $\mu\text{g/g}$ )

Table 3 Effects of different fertilizer treatments on contents of aroma products degraded from carotenoid

类胡萝卜素类致香物质	CK	PK	NK	NP	N1P1K1	N2P2K2	N3P3K3
3-羟基- $\beta$ -二氢大马酮	-	0.34	0.86	1.20	0.76	5.44	1.74
6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.82	0.38	0.76	0.76	0.54	1.96	0.69
法尼基丙酮	11.34	9.11	10.54	14.09	12.49	32.84	14.55
$\beta$ -大马酮	18.86	24.47	19.75	22.32	21.49	26.77	28.10
香叶基丙酮	2.99	3.06	4.12	3.67	4.85	10.25	4.59
二氢猕猴桃内酯	2.09	3.73	2.94	1.45	2.82	11.19	2.37
巨豆三烯酮 1	1.09	1.23	1.16	1.03	1.55	2.38	1.44
巨豆三烯酮 2	4.00	4.28	3.66	3.55	5.11	11.05	4.79
巨豆三烯酮 3	0.90	1.06	0.91	0.88	1.06	2.92	1.09
巨豆三烯酮 4	5.31	4.29	6.04	5.30	5.57	13.37	6.33
合计	46.60	51.22	49.12	52.32	54.95	118.19	65.69

注: - 表示痕量。

2.2.2 对烤后烟叶苯丙氨酸类降解产物含量的影响 苯丙氨酸类香气物质对烤烟香气具有良好的影响, 尤其是对烤烟的果香、清香贡献最大。在烤烟的挥发油中, 最重要的化合物是苯甲醇和苯乙醇, 它们可使烟气增加花香的香味<sup>[14]</sup>, 表 4 表明, 各施肥处理烟叶的类胡萝卜素类香气成分含量均高于对照处理, 增幅为 13.65% ~ 1200.44%, 平均增幅为 240.65%。NPK 配施处理苯丙氨酸类香气物质总量为 10.02 ~ 88.56  $\mu\text{g/g}$ , 平均为 36.96  $\mu\text{g/g}$ , 比 N、P、K 两两任意配施处理高 33.48% ~ 1124.66%, 平均高

404.25%, 其中以 N2P2K2 处理增幅最大, 达 1200.44%。在测定的 4 种苯丙氨酸类致香物质苯甲醇、苯乙醇、苯甲醛和苯乙醛中, 均为 N2P2K2 处理最高。

2.2.3 对烤后烟叶棕色化产物含量的影响 棕色化产物类香气物质包括糠醛、5-甲基糠醛、二氢呋喃酮、乙酰基吡咯和糠醇等成分, 其中多种物质具有特殊的香味<sup>[14]</sup>。烟叶醇化后的坚果香、甜香等优美香气与这些化合物有密切的关系, 尤其是其中的吡咯、呋喃类物质, 虽然含量低微, 但对可可香味的形成至关

重要<sup>[17]</sup>。由表 5 可知, 各施肥处理烟叶的棕色化产物类香气成分含量均高于对照处理, 增幅为 53.50% ~ 412.43%, 平均增幅为 116.67%。NPK 配施处理棕色化产物类香气物质总量为 19.02 ~ 62.26  $\mu\text{g/g}$ , 平均为 33.57  $\mu\text{g/g}$ , 比 N、P、K 两两任意配施处理高 3.05% ~ 345.02%, 平均高 115.20%。在测定的 7 种棕色化产物

中, 各施肥处理中的糠醛含量均最高, 占棕色化产物类香气物质总量的 19.17% ~ 35.99%, 平均占 29.13%。烟叶中棕色化产物的积累程度明显不同, NPK 合理配施处理中 N2P2K2 处理除了 2-乙酰呋喃外, 糠醛、糠醇、5-甲基糠醛、2-乙酰吡咯、3,4-二甲基-2,5-呋喃和吡啶含量明显高于其他处理。

#### 4 不同施肥处理对苯丙氨酸类香气物质的影响 ( $\mu\text{g/g}$ )

Table 4 Effects of different fertilizer treatments on contents of aroma products degraded from phenylalanine

苯丙氨酸类致香物质	CK	PK	NK	NP	N1P1K1	N2P2K2	N3P3K3
苯甲醇	2.34	1.54	4.31	3.27	4.25	58.18	3.20
苯乙醛	2.76	4.72	5.03	3.28	5.44	13.42	4.01
苯乙醇	0.77	0.47	1.34	1.00	1.32	13.57	1.32
苯甲醛	0.94	1.01	1.29	1.04	1.30	3.39	1.49
合计	6.81	7.74	11.97	8.59	12.31	88.56	10.02

#### 表 5 不同施肥处理对棕色化产物类香气物质的影响 ( $\mu\text{g/g}$ )

Table 5 Effects of different fertilizer treatments on contents of aroma products of browning reaction

棕色化产物类致香物质	CK	PK	NK	NP	N1P1K1	N2P2K2	N3P3K3
糠醛	9.82	14.40	14.08	12.57	13.36	39.85	13.43
糠醇	1.04	2.41	2.97	2.54	3.22	9.62	2.77
2-乙酰呋喃	0.42	0.58	0.68	0.80	0.77	0.64	0.44
5-甲基糠醛	0.48	0.37	0.46	0.48	0.39	4.35	0.47
2-乙酰吡咯	0.05	0.16	0.40	0.56	0.33	0.70	0.31
3,4-二甲基-2,5-呋喃	0.19	0.67	1.11	1.09	1.02	3.82	0.86
吡啶	0.15	0.40	0.62	0.61	0.33	3.49	0.54
合计	12.15	18.99	20.34	18.65	19.42	62.26	19.02

#### 2.2.4 对烤后烟叶类西柏烷类降解物含量的影响

类西柏烷类致香物质主要包括茄酮和氧化茄酮, 是烟叶中重要的致香成分, 具有一定的甜香, 能调和卷烟的吃味<sup>[14]</sup>, 它不但本身具有很好的香气, 而且其降解转化产物如茄醇、茄呢呋喃、降茄二酮等也是烟草中很重要的致香物质<sup>[15]</sup>。从表 6 看出, 各施肥处理烟叶的茄

酮均高于对照处理, 增幅分别为 5.27% ~ 210.3%, 平均增幅分别为 95.93%, 其中以 N2P2K2 处理增幅最大, 增幅达 210.3%。NPK 配施处理烟茄酮为 44.30 ~ 80.12  $\mu\text{g/g}$ , 平均为 55.58  $\mu\text{g/g}$ , 比 N、P、K 两两任意配施处理高 66.31% ~ 123.01%, 平均分别高 105.35%。西柏烷降解物增幅以 N2P2K2 处理最高, NP 处理最小。

#### 表 6 不同施肥处理对类西柏烷类香气物质的影响 ( $\mu\text{g/g}$ )

Table 6 Effects of different fertilizer treatments on contents of aroma products degraded from cembratriendiol

类西柏烷类致香物质	CK	PK	NK	NP	N1P1K1	N2P2K2	N3P3K3
茄酮	25.82	48.36	35.42	27.18	44.30	80.12	42.33

#### 2.2.5 对烤后烟叶新植二烯和其它类别香气物质含量的影响

新植二烯在烟草燃烧时可直接进入烟气并具有减轻刺激性和使烟气变醇和的能力。新植二烯是烟草体内一种重要的增香剂, 它作为捕集烟气的载体, 具有携带烟叶中其他挥发性香气物质和致香物质及添加的香气成分进入烟气的作用

<sup>[16]</sup>。另外, 新植二烯可进一步分解转化为具有清香的植物呋喃, 这对提高烤烟的香气能产生积极影响<sup>[14]</sup>, 由表 7 可以看出, 各施肥处理烟叶的新植二烯均高于对照处理, 增幅为 17.17% ~ 102.28%, 平均增幅为

表 7 不同施肥处理对新植二烯和其它类别香气物质的影响 ( $\mu\text{g/g}$ )

Table 7 Effects of different fertilizer treatments on contents of neophytadiene and other aroma products

新植二烯和其它类别致香物质	CK	PK	NK	NP	N1P1K1	N2P2K2	N3P3K3
新植二烯	638.37	781.32	826.20	747.98	854.90	1255.30	1291.30
氧化异佛尔酮	0.16	0.12	0.10	0.14	0.12	0.45	0.11
4-乙烯基-2-甲氧基苯酚	0.26	0.19	0.14	0.23	0.11	0.66	0.17
螺岩兰草酮	0.18	0.54	0.35	0.38	0.37	3.29	0.17

50.30%，其中以 N3P3K3 处理增幅最大，增幅达 102.28%；其次是 N2P2K2 处理，增幅达 96.64%。NPK 106.92 ~ 465.1  $\mu\text{g/g}$ ，平均高 313.03  $\mu\text{g/g}$ 。新植二烯含量的大幅度增加，对烟叶的香气质量的改善具有重要意义。在所测定的其余 3 种香气物质中，氧化异佛尔酮、4-乙烯基-2-甲氧基苯酚、螺岩兰草酮的含量均以 N2P2K2 处理最大。

### 3 结论与讨论

石油醚提取物含量高的烟叶化学成分含量一般比例协调，色度饱满，光泽强，油分多，弹性好，香气纯正丰满，吃味醇和舒适，劲头适中，综合质量较好<sup>[14]</sup>。本试验研究结果表明，各施肥处理石油醚提取物的含量均高于对照处理，且各处理烟叶中石油醚提取物含量差异都达到了显著水平。NPK 配施处理与 N、P、K 任意两种肥料配施处理相比，烟叶的石油醚含量均有所提高，且随着施肥量的增加，烟叶的石油醚含量有所增加，说明 NPK 配施对提高烤烟石油醚提取物含量具有促进作用。

试验结果表明各施肥处理均可不同程度地提高烟叶中新植二烯含量，而且各处理中新植二烯的含量在中性致香物质中比例最高，这与相关研究结果相同<sup>[19-20]</sup>。各施肥处理相比较，N3P3K3 处理最高，N2P2K2 处理次之，NP 处理较对照处理增幅最小。叶绿素是烟叶成熟和调制过程中变化幅度较大的物质之一，其主要降解产物新植二烯不仅本身具有一定香气，而且可分解转化形成低分子香味成分<sup>[14,19]</sup>。NPK 配施过量（N3P3K3 处理）烤烟在生长后期不能正常落黄，表现为贪青晚熟，出现“黑暴”现象，其新植二烯含量最高，可能与叶绿素及其本身的降解程度有关。从中性致香物质总量看，该种成分含量的不同导致了不同处理致香物质总量的差异。

研究结果还表明，各施肥处理对烤烟各类中性致香物质含量和中性致香物质总量均有明显影响。烤烟叶片中类胡萝卜素类物质含量最高，是烟叶中主要的致香类物质；苯丙氨酸降解物含量最低。从烤烟的类

配施处理烟叶新植二烯为 854.90 ~ 1291.30  $\mu\text{g/g}$ ，平均为 1133.83  $\mu\text{g/g}$ ，比 N、P、K 两两任意配施处理高胡萝卜素类总量看，各施肥处理均大于 NK 处理，说明 P 素对该类致香物质的形成有重要影响；从苯丙氨酸类致香物质的总量看，各施肥处理均大于 PK 处理，说明 N 素对苯丙氨酸类致香物质的形成有重要影响<sup>[21]</sup>；从烤烟西柏烷类和棕色化反应产物类的总量看，各施肥处理均大于 NP 处理，说明 K 素对这两类致香物质的形成有重要影响<sup>[22]</sup>，上述影响效应及其生理生化机制尚需进一步研究。

研究结果还表明：NPK 配施对烤烟的中性致香物质含量具有增效作用。3 个 NPK 配施处理相比，烤烟的苯丙氨酸、棕色化产物类、类胡萝卜素和西柏烷降解物含量及致香物质总量均为 N2P2K2 处理最高，说明随着 NPK 配施施肥量的增加，烤烟的中性致香物质含量呈现先增后减的抛物线型，进一步说明 NPK 的配施有利于烤烟致香物质的积累，但过量则有不利影响。因此，NPK 的合理配施是提高烤烟致香物质含量的重要措施。根据我们的田间试验结果，推荐的施肥方案为 N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O = 1 : 2 : 3，其用量分别为 75 kg/hm<sup>2</sup>、150 kg/hm<sup>2</sup>和 225 kg/hm<sup>2</sup>。

### 参考文献:

- [1] 周昆, 周清明, 胡晓兰. 烤烟香气物质研究进展. 中国烟草科学, 2008, 29(2): 58-61
- [2] 闫克玉, 闫洪洋, 闫洪喜. 不同产区烤烟石油醚提取物含量对比分析. 河南农业大学学报, 2007, 41(5): 498-501
- [3] 林跃平, 周清明, 王业建. 影响烟草生长、产量和品质的因子的研究进展. 作物研究, 2006(5): 490-493
- [4] 胡国松, 傅建政, 张丙孝, 刘永中, 穆琳. 目前我国烤烟烟叶质量的若干限制因子. 中国烟草科学, 1999(4): 12-15
- [5] 陆琦, 马克明, 张洁瑜, 卢涛, 倪红伟. 三江平原退化湿地和农田土壤养分的比较研究. 生态与农村环境学报, 2007, 23(2): 23-28
- [6] 王正银, 胡尚钦. 作物营养与品质. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 6-10

- [7] 关广晟, 屠乃美, 朱英华, 王中美. 氮、钾营养对烟草质量影响研究进展. 作物研究, 2006(5): 475-481
- [8] 刘国顺. 烟草栽培学. 北京: 中国农业出版社, 2003: 142-145
- [9] 李莎, 高明, 李常军, 杨超, 代先强, 欧聪敏. 氮磷钾配施对土壤氮素累积及烤烟产量品质的影响. 西南师范大学学报(自然科学版), 2007, 32(6): 104-108
- [10] 潘艳华, 胡靖, 杨树明, 阚健亮, 杨勇. 土壤氮磷钾肥量比对烤烟产量品质的影响. 西南农业大学学报, 2000, 22(2): 120-122
- [11] 郑近民, 李嵩震, 付瑜, 侯文华, 贺家媛, 陈常友, 张桂兰, 焦有. 烟区土壤养分状况及钾肥对烤烟产量和质量的影响. 土壤, 1997, 26(9): 315-321
- [12] 钟晓兰, 张德远, 李江涛, 袁兰, 程小强, 陈水根. 施钾对烤烟钾素吸收利用效率及其产量和品质的影响. 土壤, 2008, 40(2): 216-221
- [13] 国家技术监督局. YC/T 176 - 2003. 烟草及烟草制品石油醚提取物的测定. 北京: 中国标准出版社, 2003
- [14] 史宏志, 刘国顺. 烟草香味学. 北京: 中国农业出版社, 1998
- [15] 赵铭钦, 刘金霞, 刘国顺, 黄永成, 苏长涛, 赵明山, 周红磊. 增施不同的有机质对烤烟多酚和石油醚提取物含量的影响. 云南农业大学学报, 2008, 23(4): 536-539
- [16] 张永安, 王瑞强, 杨述元, 周冀衡. 生态因子与烤烟中性挥发性香气物质的关系研究. 安徽农业科学, 2006, 4(18): 4652-4654
- [17] 汪耀富, 高华军, 刘国顺, 于建军, 韩富根. 不同基因型烤烟叶片致香物质含量的对比分析. 中国农学通报, 2005, 21(5): 117-120
- [18] 何承钢, 曾旭波. 烤烟香气物质的影响因素及其代谢研究进展. 中国烟草科学, 2005(2): 40-43
- [19] 史宏志, 韩锦峰, 官春云. 烟叶香气前体物在成熟和调制过程中的变化. 作物研究, 1999, 10(2): 22-25
- [20] 罗建新, 萧汉乾, 方红, 周万春, 彭建伟. 钾肥施用量与施用期对烤烟产量和品质的影响. 湖南农业大学学报, 1997, 23(2): 132-136
- [21] 刘霞, 张毅, 刘国顺, 付劭怡, 凌爱芬. 施氮量对烤烟中性致香物质含量的影响. 中国农学通报, 2008, 24(3): 200-204
- [22] 刘国顺, 叶协锋, 王彦亭, 李雪利, 马丽霞. 不同钾肥施用量对烟叶香气成分含量的影响. 中国烟草科学, 2004(4): 1-4

## Effects of Different Combining Application of N, P, K Fertilizers on Petroleum Ether Extracts and Aroma Constituents in Flue-cured Tobacco Leaves

LIU Guo-shun<sup>1</sup>, ZHANG Chun-hua<sup>1</sup>, DAI Li-peng<sup>1</sup>, SONG Xiao-hua<sup>1</sup>, SHI Qiu-huan<sup>2</sup>, LI Yong-tao<sup>2</sup>, ZHANG Xue<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> National Tobacco Cultivation, Physiology and Biochemistry Research Centre, Henan Agriculture University, Zhengzhou 450002, China;

<sup>2</sup> Luoning Tobacco Leaf Company of Henan Province, Luoning, Henan 471700, China)

**Abstract:** Field experiment was conducted to study the effects of the combining application of N, P and K fertilizers on the contents of petroleum ether extracts and aroma constituents in flue-cured tobacco leaves of a tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) cultivar Zhongyan100. Results showed that the contents of petroleum ether extracts, total aroma constituents and different kinds of aroma constituents in tobacco leaves were the lowest in the treatment without fertilizer (CK). Combining application of any two of N, P, K could increase the contents of petroleum ether extracts and aroma constituents. With the increment of N, P, K fertilizers, petroleum ether extracts in flue-cured tobacco leaves increased continuously, while the content of aroma constituents increased at first then decreased, showed a shape of parabola. Therefore, reasonable combining application of N, P, K fertilizers is an important and effective measure in improving petroleum ether extracts and total aroma constituents in flue-cured tobacco. The recommended fertilization derived from field experiment is N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 1:2:3 with the amounts of N, P and K fertilizers of 75 kg/hm<sup>2</sup>, 150 kg/hm<sup>2</sup> and 225 kg/hm<sup>2</sup> respectively.

**Key words:** Flue-cured tobacco, Petroleum ether extracts, Aroma constituents, Fertilization