

令和3年度厚生労働行政推進調査事業費補助金
(循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業)
分担研究報告書

加熱式たばこ主流煙に含まれる芳香族アミン類の分析

分担研究者 稲葉 洋平 国立保健医療科学院
分担研究者 高橋 秀人 国立保健医療科学院
研究協力者 郡司 夏美 東京薬科大学
研究協力者 内山 茂久 国立保健医療科学院

研究要旨

これまでに確立した紙巻たばこの主流煙芳香族アミン類の分析法を加熱式たばこに変更し、実態を調査することを目的とした。たばこ主流煙には、国際がん研究機関のグループ1（ヒトに対して発がん性のある）に該当する4-アミノビフェニル、*o*-トルイジン、2-ナフチルアミン等の芳香族アミン類が含まれている。現在、国内で販売される紙巻たばこ銘柄の報告は少ない状況であった。我々は芳香族アミンの対象物質を増やし、高速液体クロマトグラフ質量分析計（LC/MS/MS）を使用した分析法を確立し、国産たばこ銘柄に適用してきた。本研究では、加熱式たばこ7製品の29銘柄について分析を行ったところ、芳香族アミン類は加熱式たばこの加熱温度が高くなると若干高い濃度となった。定量された芳香族アミン類は20成分中19成分が検出された。特に*o*-トルイジンが発がん性物質であり、最も含有されている芳香族アミンであった。それ以外にも、発がん性物質2-ナフチルアミン、4-アミノビフェニルと有害性が懸念されている2,6-ジメチルアニリンも含有されていた。加熱式たばこの芳香族アミン類は紙巻たばこと比較すると1/10であるが、必ず喫煙者は複数の芳香族アミン類に曝露されることから有害化学物質の複合曝露は継続されていることが確認された。

A. 研究目的

たばこ主流煙には、200種類以上の発がん関連物質が含まれており、70種類の発がん性物質が含まれていると報告されている。発がん性物質として、1,3-ブタジエン、ホルムアルデヒド、ベンゼンのようなガス成分やベンゾ[*a*]ピレン、たばこ特異的ニトロソアミン類などの粒子成分が存在しており、これまでに本研究班からも国内で販売される紙巻たばこ銘柄について分析結果を報告してきた。これらの化学物質以外にも、4-アミノビフェニル、*o*-トルイジン、2-ナフチルアミンなどは、国際がん研究機関の発がん性リスク一覧のグループ1（ヒトに対する発がん性が認められる）に分類され発がん性を有し、含有量が数ngでもその

有害性は高いと報告されている。この4-アミノビフェニルをはじめとする芳香族アミンは、ベンゼン環にアミンが置換されている構造となっている。しかし、国内で販売されている紙巻たばこについての分析結果の報告は少なくその実態が不明である。また、これまでの芳香族アミン類分析の公定法では、主に4種類（1-ナフチルアミン、2-ナフチルアミン、3-アミノビフェニル、4-アミノビフェニル）の芳香族アミンを対象としてきた。これまでに本研究班では、芳香族アミン類の高速液体クロマトグラフ質量分析計（LC/MS/MS）を使用した分析法を確立し、国産紙巻たばこ銘柄に適用した。そこで本研究では、加熱式たばこの主流煙の芳香族アミン類について分析を行った。

B. 研究方法

1. 使用たばこ銘柄

たばこ試料

加熱式たばこ 7 製品 (IQOS3、glo pro、glo hyper、Ploom S、Ploom S2.0、PULZE、NOS (IQOS 互換機)) を使用し、製品ごとに 3-4 銘柄について分析を行った。なお、試料は主流煙捕集前 48 時間から 10 日間、温度 $22 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 3\%$ で恒温・恒湿化を行った。

2. たばこ主流煙の化学物質の分析

たばこ主流煙の捕集

たばこ主流煙の捕集は、自動喫煙装置 (LX20, Borgwaldt KC GmbH) を用いて HCl 法を行った。HCl 法、(一服につき 2 秒間で 55 mL 吸引、30 秒毎に一服させ、通気孔は全封鎖状態) は Health Canada Intense protocol T-115 (1, 2) に準拠して行った。たばこは、ISO 3402 (3) に従って捕集前に恒温恒湿化を行い、たばこ主流煙中の総粒子状物質 (total particle matter ; TPM) は Cambridge filter pad (CFP, ϕ 44 mm, Borgwaldt KC GmbH) で捕集した。HCl 法は 1 枚につき、たばこ 5 本分の主流煙を捕集し、1 試料とした。たばこ銘柄ごとに 5 試料調製し、それぞれ測定に供した。

芳香族アミンの分析

前処理法

たばこ主流煙からの芳香族アミン抽出は、捕集後のフィルターを 0.1%ギ酸溶液で振とう抽出後、Bond-Elut CH カラムと珪藻土カラムの 2 段階で前処理を組み合わせることで行った。得られた前処理溶液を LC/MS/MS に供した。

測定対象成分

20 種類の芳香族アミン (アニリン、*o*-、*m*-、*p*-アニシジン、*o*-、*m*-、*p*-トルイジン、2,3-、2,4-

2,5-、2,6-ジメチルアニリン、2-、3-、4-エチルアニリン、1-、2-ナフチルアミン、1-メチル-2-ナフチルアミン、2-、3-、4-アミノピフェニル) について分析を行った。

LC/MS/MS 条件

分析カラムは、Raptor Fluoro Phenyl カラム (RESTEK 製 $1.8\mu\text{m}$ 、 $100 \times 2.1\text{mm}$) を使用した。移動相は、A : 0.1%ギ酸と B : メタノールを採用し、流速は 0.35 mL/min、カラムオープン温度 30°C とした。高速液体クロマトグラフ質量分析計 (LC/MS/MS) は、Waters Xevo TQ-S で行った。

C. 結果及び考察

1. 加熱式たばこ主流煙の芳香族アミンの分析法

これまでに確立したたばこ主流煙の芳香族アミン類分析法を加熱式たばこ用に変更を行った。主流煙の捕集本数は、3 から 5 本へ変更した。次に、CFP の抽出は小スケールで行うために、試験管に入れ振とうした。これだけの変更によって加熱式たばこの主流煙の芳香族アミン類の分析が可能となった。

2. 加熱式たばこ銘柄への適用

加熱式たばこ 6 製品 29 銘柄の芳香族アミン類分析結果を示す (Table1-3)。紙巻たばこ銘柄の主流煙に最も多く含まれていたアニリンは、加熱式たばこ主流煙では検出されなかった。しかし、紙巻たばこと同様に加熱式たばこにおいても発がん性物質の *o*-トルイジンが最も多く含まれていた。アメリカ食品医薬品局 (FDA) が 2012 年 3 月に 93 の HPHC の予備リストを公開した。この HPHC リストは、たばこ使用の 5 つの最も深刻な健康影響 (癌、心血管疾患、呼吸器疾患、生殖障害、および依存症) に関連する化学物質に焦点を当てている。HPHC は、喫煙者または非喫煙者に害を及ぼす、または害を及ぼす可能性のあるたばこ製品またはたばこの煙に含まれる化学物質または化

合物となっている。その中には *o*-トルイジン以外にも 1-ナフチルアミン、2,6-ジメチルアニリン、*o*-アニシジンなど含まれている。これらの芳香族アミン類も本研究で分析を行った加熱式たばこ銘柄にも含まれていた。

加熱式たばこの芳香族アミン類の分析結果を紙巻たばこの分析結果と比較すると 1/10 以下に低減されていた。たばこ葉加熱温度が 350°C 程度になっている加熱式たばこは、500-900°C に達する紙巻たばこより発生が抑えられていた。しかしながら、今回分析対象とした加熱式たばこ銘柄から、アニリン以外の芳香族アミン類が定量されたことから、加熱式たばこを使用しても有害化学物質の曝露は継続されることも確認された。

加熱式たばこの製品別に比較すると *o*-トルイジンは、IQOS が 1.10-1.50、glo2 製品が 1.32-2.79、Ploom2 製品が 0.16-1.69 そして IQOS 互換機の NO S が 1.33-16.8 ng/stick となった。基本的に加熱温度が高い製品が芳香族アミン量も高い傾向にあった。しかし、glo 製品は、IQOS よりも加熱温度が低い芳香族アミン類は高い傾向にあった。これは、glo のたばこ葉を外側から加熱する製品の影響があるかもしれないと考えている。

D. 結論

本研究は、これまでに確立した紙巻たばこ主流煙の芳香族アミン類の分析法を加熱式たばこ分析用に変更し定量を行った。その結果、加熱式たばこ 7 製品 29 銘柄においてアニリン以外の 19 成分が定量された。しかし、紙巻たばこ主流煙芳香族アミン類成分と比較すると 1/10 以下になっていた。一方で、加熱式たばこであっても芳香族アミン類が 19 成分曝露されていることが確認された。

E. 参考文献

- (1) Health Canada Test Method T-115. Determination of the tar, water, nicotine and

carbon monoxide in mainstream tobacco smoke. 1999.

- (2) WHO. Standard operating procedure for intense smoking of cigarettes: WHO Tobacco Laboratory Network (TobLabNet) official method (Standard operating procedure 01). Geneva, World Health Organization, 2012.
- (3) ISO 3402. Tobacco and tobacco products -- Atmosphere for conditioning and testing. 1999.

F. 研究発表

1. 論文発表

Sawa M, Ushiyama A, Inaba Y, Uchiyama S, Hattori K, Ogasawara Y, Ishii K. A Newly Developed Aerosol Exposure Apparatus for Heated Tobacco Products for In Vivo Experiments Can Deliver Both Particles and Gas Phase With High Recovery and Depicts the Time-Dependent Variation in Nicotine Metabolites in Mouse Urine. *Nicotine Tob Res.* 2021 Nov 5;23(12):2145-2152.

2. 学会発表

1. Mizuno Y, Masuoka H, Kibe M, Kosaka S, Inaba Y, Natsuhara K, Hirayama K, Inthavong N, Kounnavong S, Tomita S, Umezaki M. Associations between arsenic, cadmium, and selenium exposure and oxidative stress in rural residents of northern Laos. the 33rd Annual Conference of the International Society for Environmental Epidemiology (ISEE 2021) 2021.8.23-26. Web 開催.

2. Azuma K, Bekki K, Inaba Y, Kim H. Questionnaire survey for health risk assessment of exposure to semi-volatile organic compounds-contaminated floor dust in housing: preliminary survey on prevalence. ISEE 2021 New York.

3. 稲葉洋平, 郡司夏美, 内山茂久, 戸次加奈江,

牛山明. 2 種類の前処理を組み合わせたたばこ主流煙の芳香族アミン分析 第 29 回環境化学討論会. 2021.6.2-3. ハイブリッド開催 同要旨集 p254-255.

4. 稲葉洋平, 松本知大, 内山茂久, 戸次加奈江, 牛山明. 加熱式たばこ IQOS と互換機から発生する有害化学物質の比較 フォーラム 2021 衛生薬学・環境トキシコロジー 2021.9.10-11. オンライン開催. 同講演要旨集 p279.

5. 稲葉洋平, 内山茂久, 戸次加奈江, 牛山明. 加熱式たばこ副流煙(エアロゾル)のニコチンとたばこ 特異的ニトロソアミンの分析. 第 80 回日本公衆衛生学会総会. 2021.11.21-23 ; ハイブリッド開催 (東京). 同講演抄録集. p.370

6. 清水萌花, 内山茂久, 稲葉洋平, 櫻田尚樹, 牛山明, 小倉裕直. 電子タバコから発生する熱分解物質の発生量に及ぼす加熱温度の影響. 2021 年室内環境学会学術大会. ハイブリッド開催(京都) 2021.12.2-3. 講演要旨集

7. 稲葉洋平, 内山茂久, 戸次加奈江, 牛山明. 加熱式たばこ主流煙のタール・ニコチン・一酸化炭素・たばこ特異的ニトロソアミンの分析. 2021 年室内環境学会学術大会 ; 2021.12.2-4 ; 京都. 同講演集. p.314-315

8. 稲葉洋平, 内山茂久, 戸次加奈江, 牛山明. 紙巻たばこ専用加熱装置から発生する主流煙の有害化学物質の分析. 第 31 回日本禁煙推進医師歯科医師連盟学術総会 (静岡) 2022.2.26-27. プログラム要旨集 p61.

9. 澤麻理恵, 石川智, 牛山明, 服部研之. IQOS エアロゾルばく露は肺組織及び肺泡マクロファージに酸化ストレスを発生させる. 第 92 回日本衛生学会学術総会 (兵庫) 2022.3.21-23. 同予稿集 S205.

10. 澤麻理恵, 牛山明, 稲葉洋平, 中舘和彦, 服部研之. 加熱式たばこエアロゾルを短期間ばく露した際のマウス肺の組織学的評価. 日本薬学会第 142 年会 (名古屋) 2022.3.25-28. Web 予稿集.

11. 稲葉 洋平, 内山 茂久, 戸次 加奈江, 牛山 明. 電子たばこの連続喫煙による一酸化炭素, フェノール類の発生. 日本薬学会第 142 年会 (名古屋) 2022.3.25-28. オンライン要旨集

G. 知的財産権の出願・登録状況
特になし

Table 1 加熱式たばこ銘柄の主流煙の芳香族アミン類 (IQOS, glo pro, glo hyper)

HCl Method	AMOUNTS (ng/stick)																	
	IQOS3					glo pro					glo hyper							
	REGULAR	MINT	DEEP BRONZE	HEETS	FRESH EMERALD	bright tobacco	intensely fresh	drink fresh	DARK	meo	Boost Mint	TRUE TOBACCO	KENT	TRUE MENTHOL	Terracotta Tabaco	meo	Fresco Menthol	
MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	
aniline	0.114 ± 0.011	0.091 ± 0.016	0.071 ± 0.013	0.081 ± 0.010	0.085 ± 0.019	0.038 ± 0.017	0.037 ± 0.012	0.114 ± 0.002	0.028 ± 0.014	1.009 ± 0.112	1.174 ± 0.090	1.123 ± 0.121	1.123 ± 0.121	1.009 ± 0.112	1.174 ± 0.090	1.123 ± 0.121	1.123 ± 0.121	1.009 ± 0.112
<i>o</i> -anisidine	0.009 ± 0.007	0.017 ± 0.018	0.006 ± 0.004	0.007 ± 0.006	0.005 ± 0.001	0.001 ± 0.001	0.004 ± 0.001	0.001 ± 0.001	0.001 ± 0.001	0.006 ± 0.004	0.004 ± 0.004	0.006 ± 0.004	0.006 ± 0.004	0.006 ± 0.004	0.004 ± 0.004	0.006 ± 0.004	0.006 ± 0.004	0.006 ± 0.004
<i>m</i> -anisidine	0.003 ± 0.002	0.005 ± 0.004	0.001 ± 0.001	0.004 ± 0.003	0.002 ± 0.001	0.002 ± 0.001	0.002 ± 0.001	0.001 ± 0.001	0.001 ± 0.001	0.003 ± 0.001	0.001 ± 0.001	0.004 ± 0.004	0.004 ± 0.004	0.003 ± 0.001	0.001 ± 0.001	0.004 ± 0.004	0.004 ± 0.004	0.003 ± 0.001
<i>p</i> -toluidine	1.50 ± 0.20	1.23 ± 0.18	1.10 ± 0.23	1.20 ± 0.27	1.65 ± 0.13	1.85 ± 0.13	1.71 ± 0.13	2.11 ± 0.23	1.44 ± 0.13	1.32 ± 0.15	1.32 ± 0.15	1.76 ± 0.46	1.76 ± 0.46	1.32 ± 0.15	1.32 ± 0.15	2.32 ± 0.64	2.32 ± 0.64	1.32 ± 0.15
<i>m</i> -toluidine	0.459 ± 0.056	0.354 ± 0.054	0.324 ± 0.062	0.299 ± 0.095	0.038 ± 0.017	0.038 ± 0.017	0.037 ± 0.012	0.037 ± 0.012	0.037 ± 0.012	0.028 ± 0.014	0.492 ± 0.099	0.014 ± 0.002	0.014 ± 0.002	0.028 ± 0.014	0.492 ± 0.099	0.014 ± 0.002	0.014 ± 0.002	0.028 ± 0.014
<i>p</i> -toluidine	0.069 ± 0.020	0.077 ± 0.020	0.090 ± 0.023	0.091 ± 0.010	0.009 ± 0.001	0.009 ± 0.001	0.014 ± 0.002	0.014 ± 0.002	0.012 ± 0.005	0.012 ± 0.005	0.267 ± 0.028	0.014 ± 0.002	0.014 ± 0.002	0.012 ± 0.005	0.267 ± 0.028	0.014 ± 0.002	0.014 ± 0.002	0.012 ± 0.005
2-ethylaniline	0.584 ± 0.125	0.350 ± 0.128	0.351 ± 0.143	0.429 ± 0.108	0.597 ± 0.066	0.597 ± 0.066	0.579 ± 0.093	0.658 ± 0.089	0.489 ± 0.183	1.055 ± 0.183	1.055 ± 0.183	1.312 ± 0.424	1.312 ± 0.424	1.055 ± 0.183	1.055 ± 0.183	1.312 ± 0.424	1.312 ± 0.424	1.055 ± 0.183
3-ethylaniline	0.188 ± 0.048	0.132 ± 0.026	0.123 ± 0.032	0.113 ± 0.019	0.019 ± 0.006	0.019 ± 0.006	0.017 ± 0.005	0.011 ± 0.005	0.011 ± 0.005	0.011 ± 0.005	0.237 ± 0.055	0.011 ± 0.005	0.011 ± 0.005	0.011 ± 0.005	0.237 ± 0.055	0.011 ± 0.005	0.011 ± 0.005	0.011 ± 0.005
4-ethylaniline	0.705 ± 0.151	0.575 ± 0.107	0.492 ± 0.132	0.479 ± 0.165	0.634 ± 0.118	0.634 ± 0.118	0.616 ± 0.092	0.706 ± 0.182	0.712 ± 0.154	0.649 ± 0.216	0.649 ± 0.216	0.820 ± 0.113	0.820 ± 0.113	0.649 ± 0.216	0.649 ± 0.216	0.820 ± 0.113	0.820 ± 0.113	0.649 ± 0.216
2,3-dimethylaniline	0.029 ± 0.007	0.025 ± 0.004	0.017 ± 0.005	0.020 ± 0.007	0.002 ± 0.002	0.002 ± 0.002	0.027 ± 0.006	0.034 ± 0.004	0.034 ± 0.008	0.034 ± 0.008	0.044 ± 0.006	0.034 ± 0.004	0.034 ± 0.004	0.034 ± 0.008	0.044 ± 0.006	0.034 ± 0.004	0.034 ± 0.004	0.034 ± 0.008
2,4-dimethylaniline	0.118 ± 0.013	0.097 ± 0.005	0.079 ± 0.013	0.088 ± 0.012	0.002 ± 0.002	0.002 ± 0.002	0.213 ± 0.044	0.214 ± 0.047	0.063 ± 0.009	0.068 ± 0.008	0.068 ± 0.008	0.064 ± 0.008	0.064 ± 0.008	0.068 ± 0.008	0.068 ± 0.008	0.064 ± 0.008	0.064 ± 0.008	0.068 ± 0.008
2,5-dimethylaniline	0.111 ± 0.015	0.082 ± 0.003	0.073 ± 0.015	0.076 ± 0.009	0.009 ± 0.010	0.009 ± 0.010	0.066 ± 0.005	0.085 ± 0.018	0.080 ± 0.017	0.090 ± 0.010	0.090 ± 0.010	0.089 ± 0.010	0.089 ± 0.010	0.090 ± 0.010	0.090 ± 0.010	0.089 ± 0.010	0.089 ± 0.010	0.090 ± 0.010
2,6-dimethylaniline	0.320 ± 0.027	0.210 ± 0.012	0.213 ± 0.032	0.212 ± 0.023	0.005 ± 0.006	0.005 ± 0.006	0.155 ± 0.014	0.167 ± 0.017	0.147 ± 0.009	0.192 ± 0.010	0.192 ± 0.010	0.274 ± 0.019	0.274 ± 0.019	0.192 ± 0.010	0.192 ± 0.010	0.274 ± 0.019	0.274 ± 0.019	0.192 ± 0.010
1-naphthylamine	0.055 ± 0.008	0.047 ± 0.005	0.034 ± 0.008	0.048 ± 0.007	0.016 ± 0.015	0.016 ± 0.015	0.244 ± 0.037	0.256 ± 0.030	0.243 ± 0.021	0.212 ± 0.023	0.212 ± 0.023	0.167 ± 0.031	0.167 ± 0.031	0.212 ± 0.023	0.212 ± 0.023	0.167 ± 0.031	0.167 ± 0.031	0.212 ± 0.023
2-naphthylamine	0.006 ± 0.001	0.006 ± 0.001	0.004 ± 0.000	0.005 ± 0.001	0.006 ± 0.001	0.006 ± 0.001	0.007 ± 0.000	0.005 ± 0.001	0.007 ± 0.001	0.006 ± 0.001	0.006 ± 0.001	0.007 ± 0.001	0.007 ± 0.001	0.006 ± 0.001	0.006 ± 0.001	0.007 ± 0.001	0.007 ± 0.001	0.006 ± 0.001
2-methyl-1-naphthylamine	0.13 ± 0.03	0.17 ± 0.04	0.10 ± 0.03	0.14 ± 0.02	0.28 ± 0.27	0.28 ± 0.27	1.40 ± 0.16	1.72 ± 0.21	2.28 ± 0.38	0.73 ± 0.16	0.73 ± 0.16	1.04 ± 0.13	1.04 ± 0.13	0.73 ± 0.16	0.73 ± 0.16	1.04 ± 0.13	1.04 ± 0.13	0.73 ± 0.16
2-aminobiphenyl	0.052 ± 0.009	0.055 ± 0.007	0.033 ± 0.006	0.048 ± 0.003	0.004 ± 0.006	0.004 ± 0.006	0.071 ± 0.015	0.082 ± 0.011	0.066 ± 0.009	0.050 ± 0.011	0.050 ± 0.011	0.061 ± 0.009	0.061 ± 0.009	0.050 ± 0.011	0.050 ± 0.011	0.061 ± 0.009	0.061 ± 0.009	0.050 ± 0.011
3-aminobiphenyl	0.009 ± 0.003	0.004 ± 0.001	0.004 ± 0.001	0.003 ± 0.001	0.001 ± 0.001	0.001 ± 0.001	0.004 ± 0.001	0.003 ± 0.001	0.009 ± 0.001	0.002 ± 0.001	0.002 ± 0.001	0.010 ± 0.006	0.010 ± 0.006	0.002 ± 0.001	0.002 ± 0.001	0.010 ± 0.006	0.010 ± 0.006	0.002 ± 0.001
4-aminobiphenyl	0.009 ± 0.004	0.004 ± 0.000	0.002 ± 0.000	0.003 ± 0.000	0.001 ± 0.001	0.001 ± 0.001	0.006 ± 0.002	0.006 ± 0.001	0.009 ± 0.006	0.003 ± 0.002	0.003 ± 0.002	0.012 ± 0.007	0.012 ± 0.007	0.003 ± 0.002	0.003 ± 0.002	0.012 ± 0.007	0.012 ± 0.007	0.003 ± 0.002

Table 2 加熱式たばこ銘柄の主流煙の芳香族アミン類 (Ploom S, Ploom S2.0)

n=5

HCl Method	AMOUNTS (ng/stick)											
	Ploom S				Ploom S2.0				CAMEL			
	MEVIUS		CAMEL		MEVIUS		MENTHOL		REGULAR		MENTHOL	
	REGULAR	SD	MEAN	SD	REGULAR	SD	MEAN	SD	REGULAR	SD	MEAN	SD
aniline	n.d.				n.d.				n.d.			
<i>o</i> -anisidine	0.333 ± 0.016		0.325 ± 0.052	0.425 ± 0.037	0.335 ± 0.025	0.524 ± 0.072	0.509 ± 0.087	0.502 ± 0.122	0.502 ± 0.122		0.473 ± 0.041	n.d.
<i>m</i> -anisidine	0.0004 ± 0.0003		0.0006 ± 0.0001	0.0011 ± 0.0006	0.0007 ± 0.0005	0.0014 ± 0.0008	0.0011 ± 0.0011	0.0012 ± 0.0006	0.0012 ± 0.0006		0.0027 ± 0.0049	
<i>p</i> -anisidine	0.0004 ± 0.0003		0.0006 ± 0.0001	0.0011 ± 0.0006	0.0007 ± 0.0005	0.0002 ± 0.0001	0.0002 ± 0.0001	0.0003 ± 0.0001	0.0003 ± 0.0001		0.0001 ± 0.0000	
<i>o</i> -toluidine	0.16 ± 0.009		1.21 ± 0.224	0.19 ± 0.054	0.20 ± 0.047	0.32 ± 0.020	1.69 ± 0.065	0.30 ± 0.030	0.30 ± 0.030		0.39 ± 0.070	
<i>m</i> -toluidine	0.067 ± 0.004		0.064 ± 0.007	0.071 ± 0.011	0.066 ± 0.005	0.146 ± 0.020	0.157 ± 0.024	0.150 ± 0.024	0.150 ± 0.024		0.161 ± 0.009	
<i>p</i> -toluidine	0.016 ± 0.002		0.018 ± 0.004	0.019 ± 0.007	0.026 ± 0.004	0.075 ± 0.012	0.091 ± 0.007	0.077 ± 0.014	0.077 ± 0.014		0.086 ± 0.008	
2-ethylaniline	0.008 ± 0.001		0.007 ± 0.001	0.010 ± 0.003	0.009 ± 0.002	0.018 ± 0.007	0.032 ± 0.017	0.019 ± 0.004	0.019 ± 0.004		0.025 ± 0.007	
3-ethylaniline	0.008 ± 0.000		0.009 ± 0.002	0.010 ± 0.001	0.009 ± 0.001	0.010 ± 0.002	0.010 ± 0.003	0.012 ± 0.001	0.012 ± 0.001		0.011 ± 0.001	
4-ethylaniline	0.004 ± 0.001		0.005 ± 0.001	0.005 ± 0.000	0.006 ± 0.001	0.007 ± 0.001	0.011 ± 0.004	0.009 ± 0.003	0.009 ± 0.003		0.012 ± 0.004	
2,3-dimethylaniline	0.012 ± 0.001		0.009 ± 0.001	0.014 ± 0.002	0.009 ± 0.001	0.013 ± 0.005	0.009 ± 0.001	0.014 ± 0.002	0.014 ± 0.002		0.015 ± 0.002	
2,4-dimethylaniline	0.012 ± 0.001		0.017 ± 0.003	0.013 ± 0.001	0.011 ± 0.003	0.022 ± 0.002	0.029 ± 0.004	0.021 ± 0.004	0.021 ± 0.004		0.022 ± 0.002	
2,5-dimethylaniline	0.015 ± 0.002		0.013 ± 0.003	0.017 ± 0.004	0.017 ± 0.003	0.017 ± 0.003	0.016 ± 0.004	0.017 ± 0.003	0.017 ± 0.003		0.016 ± 0.003	
2,6-dimethylaniline	0.032 ± 0.002		0.039 ± 0.003	0.041 ± 0.002	0.038 ± 0.002	0.082 ± 0.008	0.085 ± 0.011	0.067 ± 0.004	0.067 ± 0.004		0.089 ± 0.007	
1-naphthylamine	0.003 ± 0.001		0.003 ± 0.001	0.003 ± 0.001	0.004 ± 0.001	0.015 ± 0.004	0.018 ± 0.004	0.014 ± 0.005	0.014 ± 0.005		0.023 ± 0.004	
2-naphthylamine	0.001 ± 0.001		0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.000	0.002 ± 0.001	0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.000		0.001 ± 0.000	
2-methyl-1-naphthylamine	0.007 ± 0.001		0.007 ± 0.002	0.008 ± 0.002	0.007 ± 0.001	0.020 ± 0.006	0.026 ± 0.008	0.020 ± 0.005	0.020 ± 0.005		0.032 ± 0.009	
2-aminobiphenyl	0.004 ± 0.001		0.000 ± 0.000	0.005 ± 0.001	0.001 ± 0.000	0.006 ± 0.002	0.003 ± 0.001	0.004 ± 0.001	0.004 ± 0.001		0.003 ± 0.001	
3-aminobiphenyl	0.002 ± 0.002		0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.000	0.003 ± 0.002	0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.000		0.001 ± 0.000	
4-aminobiphenyl	0.002 ± 0.002		0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.000	0.003 ± 0.003	0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.000		0.001 ± 0.000	

Table 3 加熱式たばこ銘柄の主流煙の芳香族アミン類 (PULZE, NOS(IQOS 互換機))

n=5

HCl Method	AMOUNTS (ng/stick)																									
	PULZE									NOS																
	REGULAR			INTENSE			MINT			MENTHOL			REGULAR			IQOS			HEETS							
	MEAN	SD	n.d.	MEAN	SD	n.d.	MEAN	SD	n.d.	MEAN	SD	n.d.	MEAN	SD	n.d.	MEAN	SD	n.d.	MEAN	SD	n.d.					
aniline	0.093 ± 0.027	0.687 ± 0.108	n.d.	0.105 ± 0.028	0.119 ± 0.043	n.d.	0.560 ± 0.464	0.615 ± 0.615	0.270 ± 0.098	0.825 ± 1.17	0.0007 ± 0.0004	0.0027 ± 0.0018	0.0032 ± 0.0028	0.0010 ± 0.0009	0.0107 ± 0.0170	0.4632 ± 1.12	0.0019 ± 0.0018	0.7908 ± 2.07	0.0005 ± 0.0002	0.0017 ± 0.0011	0.0004 ± 0.0002	0.0003 ± 0.0001	0.0275 ± 0.0634	0.0435 ± 0.1012	0.0011 ± 0.0008	0.0959 ± 0.19
<i>o</i> -toluidine	1.12 ± 0.23	4.24 ± 0.34	n.d.	1.23 ± 0.27	1.33 ± 0.43	n.d.	8.61 ± 10.1	12.0 ± 18.4	3.08 ± 1.24	16.8 ± 28.1	0.603 ± 0.114	1.569 ± 0.182	0.821 ± 0.128	0.691 ± 0.154	7.29 ± 10.6	10.9 ± 16.1	4.08 ± 4.19	17.8 ± 31.4	0.190 ± 0.036	0.947 ± 0.105	0.215 ± 0.037	0.182 ± 0.025	3.430 ± 6.31	7.06 ± 10.0	1.521 ± 1.95	15.8 ± 21.9
<i>m</i> -toluidine	0.190 ± 0.036	0.947 ± 0.105	n.d.	0.215 ± 0.037	0.182 ± 0.025	n.d.	3.430 ± 6.31	7.06 ± 10.0	1.521 ± 1.95	15.8 ± 21.9	0.148 ± 0.039	4.605 ± 0.279	0.148 ± 0.029	0.116 ± 0.032	3.712 ± 4.79	5.27 ± 5.36	1.934 ± 1.72	6.63 ± 7.39	0.018 ± 0.005	0.0579 ± 0.024	0.019 ± 0.004	0.018 ± 0.004	0.723 ± 1.436	1.82 ± 2.72	0.270 ± 0.394	3.50 ± 5.71
2-ethylaniline	0.018 ± 0.005	0.579 ± 0.024	n.d.	0.019 ± 0.004	0.018 ± 0.004	n.d.	0.692 ± 0.545	1.84 ± 1.78	0.746 ± 0.790	3.85 ± 4.47	0.039 ± 0.016	1.778 ± 0.214	0.107 ± 0.021	0.058 ± 0.011	0.601 ± 1.010	1.27 ± 2.03	0.205 ± 0.165	2.36 ± 4.15	0.028 ± 0.008	0.150 ± 0.019	0.024 ± 0.004	0.030 ± 0.014	0.751 ± 0.855	1.59 ± 2.54	0.385 ± 0.219	2.81 ± 4.88
2,3-dimethylaniline	0.082 ± 0.020	0.319 ± 0.019	n.d.	0.096 ± 0.009	0.092 ± 0.031	n.d.	0.751 ± 0.855	1.59 ± 2.54	0.385 ± 0.219	2.81 ± 4.88	0.092 ± 0.020	0.407 ± 0.039	0.094 ± 0.014	0.097 ± 0.038	1.610 ± 2.665	3.54 ± 5.75	0.575 ± 0.515	6.41 ± 11.7	0.246 ± 0.046	0.548 ± 0.051	0.279 ± 0.029	0.214 ± 0.065	1.967 ± 2.119	3.00 ± 4.01	1.026 ± 0.564	4.74 ± 6.93
2,4-dimethylaniline	0.014 ± 0.003	0.190 ± 0.023	n.d.	0.026 ± 0.006	0.023 ± 0.005	n.d.	1.072 ± 2.242	2.89 ± 5.06	0.255 ± 0.318	5.44 ± 11.1	0.014 ± 0.003	0.190 ± 0.023	0.026 ± 0.006	0.023 ± 0.005	0.063 ± 0.126	0.352 ± 0.725	0.018 ± 0.022	0.564 ± 1.076	0.002 ± 0.001	0.011 ± 0.001	0.003 ± 0.003	0.002 ± 0.000	0.063 ± 0.126	0.352 ± 0.725	0.018 ± 0.022	0.564 ± 1.076
2-naphthylamine	0.01 ± 0.00	0.46 ± 0.05	n.d.	0.15 ± 0.02	0.02 ± 0.01	n.d.	0.32 ± 0.54	0.68 ± 0.91	0.11 ± 0.06	0.99 ± 1.46	0.020 ± 0.007	0.295 ± 0.036	0.032 ± 0.007	0.026 ± 0.010	0.228 ± 0.395	0.516 ± 0.776	0.097 ± 0.055	0.873 ± 1.609	0.005 ± 0.004	0.011 ± 0.002	0.005 ± 0.002	0.002 ± 0.000	0.071 ± 0.118	0.263 ± 0.506	0.025 ± 0.031	0.590 ± 1.218
2-methyl-1-naphthylamine	0.005 ± 0.003	0.013 ± 0.002	n.d.	0.007 ± 0.003	0.003 ± 0.001	n.d.	0.053 ± 0.078	0.207 ± 0.412	0.015 ± 0.012	0.382 ± 0.815	0.005 ± 0.003	0.013 ± 0.002	0.007 ± 0.003	0.003 ± 0.001	0.053 ± 0.078	0.207 ± 0.412	0.015 ± 0.012	0.382 ± 0.815	0.005 ± 0.004	0.011 ± 0.002	0.005 ± 0.002	0.002 ± 0.000	0.071 ± 0.118	0.263 ± 0.506	0.025 ± 0.031	0.590 ± 1.218
2-aminobiphenyl	0.005 ± 0.004	0.011 ± 0.002	n.d.	0.005 ± 0.002	0.002 ± 0.000	n.d.	0.071 ± 0.118	0.263 ± 0.506	0.025 ± 0.031	0.590 ± 1.218	0.005 ± 0.004	0.011 ± 0.002	0.005 ± 0.002	0.002 ± 0.000	0.071 ± 0.118	0.263 ± 0.506	0.025 ± 0.031	0.590 ± 1.218	0.005 ± 0.004	0.011 ± 0.002	0.005 ± 0.002	0.002 ± 0.000	0.071 ± 0.118	0.263 ± 0.506	0.025 ± 0.031	0.590 ± 1.218
3-aminobiphenyl	0.005 ± 0.003	0.013 ± 0.002	n.d.	0.007 ± 0.003	0.003 ± 0.001	n.d.	0.053 ± 0.078	0.207 ± 0.412	0.015 ± 0.012	0.382 ± 0.815	0.005 ± 0.003	0.013 ± 0.002	0.007 ± 0.003	0.003 ± 0.001	0.053 ± 0.078	0.207 ± 0.412	0.015 ± 0.012	0.382 ± 0.815	0.005 ± 0.004	0.011 ± 0.002	0.005 ± 0.002	0.002 ± 0.000	0.071 ± 0.118	0.263 ± 0.506	0.025 ± 0.031	0.590 ± 1.218
4-aminobiphenyl	0.005 ± 0.003	0.013 ± 0.002	n.d.	0.007 ± 0.003	0.003 ± 0.001	n.d.	0.053 ± 0.078	0.207 ± 0.412	0.015 ± 0.012	0.382 ± 0.815	0.005 ± 0.003	0.013 ± 0.002	0.007 ± 0.003	0.003 ± 0.001	0.053 ± 0.078	0.207 ± 0.412	0.015 ± 0.012	0.382 ± 0.815	0.005 ± 0.004	0.011 ± 0.002	0.005 ± 0.002	0.002 ± 0.000	0.071 ± 0.118	0.263 ± 0.506	0.025 ± 0.031	0.590 ± 1.218