

周迪, 孙雨琦, 史宏志, 等. 16 个雪茄烟品种的烟碱转化率及发酵后 TSNA_s 含量 [J]. 中国烟草学报, 2020, 26 (4). ZHOU Di, SUN Yuqi, SHI Hongzhi, et al. Nicotine conversion rate of 16 cigar varieties and its relationship with TSNA_s content in fermented tobacco leaves [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2020, 26(4). doi: 10.16472/j.chinatobacco.2019.330

16 个雪茄烟品种的烟碱转化率及与发酵后 烟叶 TSNA_s 含量的关系

周迪¹, 孙雨琦¹, 史宏志¹, 杨兴有^{2,3}, 周骏⁴, 鲁喜梅¹,
白若石⁴, 阳苇丽², 赵园园¹, 秦艳青³

1 河南农业大学国家烟草栽培生理生化研究基地/烟草行业烟草栽培重点实验室/烟草农业减害研究中心,
郑州市金水区文化路95号 450002;

2 四川省烟草公司达州市公司, 四川省达州市达川区七里沟 635000;

3 中国烟草总公司四川省公司, 成都市高新区世纪城路936号 600041;

4 上海烟草集团北京卷烟厂有限公司, 北京市通州区万盛南街99号 100024

摘要: 【目的】明确不同雪茄烟品种烟碱转化率差异及与烟草特有亚硝胺 (TSNA_s) 含量的关系。【方法】对 16 个雪茄烟品种的中部叶生物碱、硝酸盐和 TSNA_s 含量进行了测定, 并分析了其相关关系。【结果】1) 不同品种雪茄烟叶均存在烟碱向降烟碱的转化问题, 参试的 16 个品种烟碱含量变化范围为 1.14%~5.42%, 平均为 3.02%, 降烟碱含量的变化范围为 0.11%~1.47%, 平均值 0.40%, 烟碱转化率范围为 5.03%~53.12%, 平均值为 12.66%, 品种间烟碱转化率的变异系数高达 101.01%。2) 茄衣品种的降烟碱含量和烟碱转化率平均值显著高于茄芯品种。3) 不同雪茄烟品种烟叶中的 TSNA_s 含量和组成具有显著差异, 总 TSNA_s 含量的变化范围为 181.74 ng/g~7759.1 ng/g, 平均为 3010.98 ng/g, 以 NNN 含量最高, 且变异性最大, 其平均值为 1616.59 ng/g, 变异系数为 97.28%。4) 相关分析结果显示, 参试的 16 个品种的雪茄烟叶中降烟碱含量、烟碱转化率都与 NNN 和 TSNA_s 含量呈极显著的正相关关系, NNN 与降烟碱含量的相关系数为 0.802。【结论】烟碱转化导致降烟碱含量增高是造成雪茄烟叶中 NNN 含量和总 TSNA_s 含量增加的主要原因之一。

关键词: 雪茄烟; 品种; 烟碱转化; TSNA_s; 烟碱; 降烟碱

近年来, 随着社会经济的发展和消费水平的提高, 雪茄的消费群体不断增大, 国产雪茄产销量快速增长, 对雪茄原料生产和供应提出了新的要求。优质雪茄烟叶不仅要具有良好的抽吸品质, 更要具备低害安全特性。烟叶中生物碱的组成和含量对烟叶质量和有害物质烟草特有亚硝胺 (TSNA_s) 的形成具有重要影响^[1]。烟草中生物碱的组成主要有四种, 分别为烟碱 (nicotine, NIC)、降烟碱 (nornicotine, NOR)、新烟草碱 (anatabine, ANAT)、假木贼碱 (anabasine,

ANAB)。正常情况下, 烟碱含量占总生物碱的 92% 以上, 降烟碱含量不会超过 3%, 但是在烟株群体中一些烟株会出现烟碱去甲基化酶的突变, 使烟碱含量降低, 降烟碱含量和比例增加^[2]。关于烟碱转化问题已在白肋烟中已有很多研究^[1-3], 但在雪茄烟中则鲜有报道。

生物碱是烟草特有亚硝胺的直接前体物, 烟碱、降烟碱、新烟草碱和假木贼碱可在烟叶调制和调制后过程中发生亚硝化反应分别形成 (NNK)、亚硝基

基金项目: 四川省烟草公司“降低雪茄烟叶 TSNA_s 关键技术研究及应用” (SCYC201915)

作者简介: 周迪 (1998—), 在读硕士研究生, 主要从事烟草栽培生理研究, Email: 927536884@qq.com

通讯作者: 史宏志 (1963—), 博士生导师, 主要从事烟草栽培生理研究, Email: shihongzhi88@163.com

收稿日期: 2019-10-09; **网络出版日期:** 2020-03-24

降烟碱（NNN）、亚硝基新烟草碱（NAT）和亚硝基假木贼碱（NAB）^[4]，其中 NNK 和 NNN 已经被列为 I 类致癌物^[5]，对烟叶的安全性有重要影响^[6]。前期研究表明，由于仲胺类的降烟碱比叔胺类的烟碱具有较大的不稳定性，更易发生亚硝化反应，因此烟碱向降烟碱转化导致降烟碱含量增高是白肋烟叶中 NNN 和 TSNA_s 总量增加的主要因素^[7-9]。通过烟碱转化性状的遗传改良、转化株的早期鉴别和去除、低转化品种选育和应用等措施来降低烟碱向降烟碱转化是降低白肋烟 TSNA_s 的有效途径^[10-11]。我国种植雪茄的历史悠久，但在雪茄烟叶有害成分含量和烟叶减害研究方面的研究却仍然十分欠缺，雪茄品种烟碱转化问题的原因也不明确。前期初步检测结果表明，雪茄烟叶 TSNA_s 含量水平普遍较高，系统研究不同雪茄品种烟叶 TSNA_s 的含量及其与生物碱组成和含量等的关系，对于明晰造成 TSNA_s 含量增高的深层原因和采取有针对性的措施降低雪茄烟叶 TSNA_s 含量，提高雪茄烟叶和制品的安全性具有重要意义。为此，我们在 2016—2017 年在四川设置品种比较试验，系统分

析测定了 16 个雪茄烟品种调制后烟叶 TSNA_s 及生物碱和硝酸盐含量，进而分析了 TSNA_s 含量与前体物含量的关系，旨在为我国雪茄烟的品种筛选和优化，有效降低雪茄烟叶 TSNA_s 含量提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验中的雪茄品种由四川中烟工业公司长城雪茄厂和 CDF 国际公司等单位提供，共计 16 个烟叶品种，其中茄衣品种有 Cuba4（CX1）、Havana92（CX2）、长城 1 号（GH-1）、长城 2 号（GH-2）、Besuki/No（BN）、Cuba-Brazil（CB），茄芯品种包括 MNC、MSCA、MFZS、PC、MFPP、OLOR、NJ、DMD、MKK、CP2012。GH-1、GH-2 两个品种自 2010 年开始引种在万源种植，后经过多年系统选择；CX1、CX2、BN、CB、MNC、MSCA、MFZS、PC、MFPP、OLOR、CP2012 等品种自 2011 年开始引种在万源种植，后进行连续多年系统选择，NJ、DMD、MKK 三个品种自 2015 年开始在万源引种种植。

表 1 参试的雪茄品种名称与代号
Tab. 1 Name and code of tested cigar varieties

茄衣品种 Cigar wrapper			茄芯品种 Cigar filler		
代号 code	原名称 name	引种来源 source	代号 code	原名称 name	引种来源 source
CX1	Cuba4	云南烟草院	MNC	MNC	CDF 公司
CX2	Havana92	云南烟草院	MSCA	MSCA	CDF 公司
GH-1	长城 1 号	长城雪茄厂	MFZS	MFZS	CDF 公司
GH-2	长城 2 号	长城雪茄厂	PC	PC	CDF 公司
BN	Besuki/No	CDF 公司	MFPP	MFPP	CDF 公司
CB	Cuba-Brazil	CDF 公司	OLOR	OLOR	CDF 公司
			CP/2012	CP/2012	CDF 公司
			NJ	尼加拉瓜长芯	长城雪茄厂
			DMD	多米尼加短芯	长城雪茄厂
			MKK	美国康州阔叶	长城雪茄厂

1.2 试验方法

试验于 2016 年设在四川达州市万源县，土壤肥力中等，有机质含量适中。各供试品种随机区组排列，重复 3 次。按照雪茄烟生产技术栽培管理。烟叶采收后，在晾房进行晾制，晾制后的烟叶在自然条件下堆捂发酵 3 周，每个处理均取中部叶 2 kg 留样，烟叶去梗后切碎，冷冻干燥后磨碎，置于冰箱保存待测。

1.3 样品测定方法

1.3.1 生物碱成分测定

取各处理调制后烟叶，在碱性条件下，每个重复

取 200 mg 样品进行生物碱的提取，提取试剂为甲基叔丁基醚（MTBE）。提取后的样品通过 Agilent 7890A 型（美国 Agilent Technologies 公司）气相色谱-氢火焰离子化检测器定量分析 4 种生物碱（烟碱、降烟碱、假木贼碱、新烟草碱）的含量并以其含量之和作为总生物碱含量，具体步骤参照行业标准 YC/T383-2010。

烟碱转化能力用烟碱转化百分率表示，即降烟碱含量占烟碱和降烟碱含量之和的百分比，可由下式计算：

烟碱转化百分率（PNC）= [降烟碱含量 / （烟碱含量 + 降烟碱含量）] × 100%

1.3.2 硝酸盐和亚硝酸盐的测定

采用浓 H_2SO_4 -水杨酸法测定烟叶 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量, 采用磺胺法测定烟叶 $\text{NO}_2\text{-N}$ 含量^[12]。

1.3.3 TSNA 成分测定

烟叶样品在上海烟草集团北京卷烟厂检测TSNAs含量。测定方法为在线SPE-液相色谱质谱联用(SPE-LC-MS/MS)法(SPE-LC: Spark Holland, Symbiosis Pico); (MS/MS: AB Sciex triple quad 5500)^[3]。称取1.0000 g样品于50 mL锥形瓶, 加入40 μL 4种氘代内标溶液和30 mL 100 mmol/L乙酸铵溶液, 在室温下以转速200 r/min振荡萃取60 min后过0.45 μm 水相滤膜, 收集滤液采用LC-MS/MS检测TSNAs含量。4种TNSA含量之和即为TSNAs总量。

1.4 数据分析

采用Excel 2016和Excel软件进行数据分析和制图; 使用SPSS 17.0软件进行方差分析, 用Duncan's对雪茄烟叶生物碱、氮氧化物和TSNAs等指标进行方差分析和方差齐性检验。

2 结果与分析

2.1 不同雪茄品种 TSNAs 及其前体物含量分析

2.1.1 不同雪茄品种生物碱含量和烟碱转化率分析

由表2可知, 不同雪茄品种烟叶生物碱含量存在显著差异。所有参试品种总生物碱含量范围为1.74%~6.05%, 总生物碱的平均值为3.63%。烟碱含量变化范围为1.14%~5.42%, 平均为3.02%, 降烟碱

表2 雪茄不同品种生物碱和硝酸盐含量及烟碱转化率

Tab. 2 The content of alkaloids and nitrate and the conversion of nicotine in different cigars

品种		生物碱含量 /%				烟碱转化率 /%	氮氧化物 / (μg/g)		
		烟碱	降烟碱	假木贼碱	新烟草碱		总量	硝酸盐	亚硝酸盐
茄芯	MNC	3.55 de	0.25 g	0.0027 k	0.28 g	4.08 d	6.78 h	1019.10h	21.57 g
	MSCA	3.63 d	0.25 g	0.0026 k	0.30 f	4.18 d	6.49 h	1055.40h	22.62 g
	MFZS	3.56 de	0.17 h	0.0238 h	0.30 ef	3.39 e	4.58 ij	1469.52c	34.52 c
	PC	2.14 j	0.32 e	0.0265 g	0.16 k	2.64 h	12.96 e	1392.58d	32.22 d
	MFPP	3.99 c	0.17 h	0.0294 de	0.25 h	4.44 c	4.05 k	1061.56h	22.79 g
	OLOR	2.55i	0.29 f	0.0276 f	0.21i	3.09 fg	10.24 f	712.72 k	12.85k
	NJ	5.10b	0.43d	0.0336 b	0.34b	5.89 a	7.68 g	779.27 j	14.74 j
	DMD	2.76g	0.14i	0.0286 e	0.14 l	3.07 fg	4.99 i	2174.72b	54.46b
	MKK	5.42a	0.26g	0.0377a	0.32c	6.05 a	4.65 ij	1470.49c	34.46c
	CP	1.55k	0.11j	0.0027k	0.08m	1.74i	6.36h	1276.88e	68.33a
	平均值	3.425	0.239	0.0215	0.238	3.857	6.878	1241.224	31.856
	变异系数 /%	35.83	40.01	63.02	36.56	35.45	40.89	34.07	55.20
茄衣	CX2	3.42e	0.82 c	0.0327 c	0.42 a	4.69b	20.13c	1063.29h	22.81 g
	CX1	1.14m	1.47 a	0.0144 j	0.31 de	3.00fg	53.12 a	1143.37g	18.77 h
	GH-2	1.37 l	0.26 g	0.0027 k	0.13 l	1.77i	15.61d	857.04 i	16.96 i
	BN	2.68h	0.96 b	0.0233 h	0.32cd	4.00d	29.23b	2259.23a	26.27 f
	GH-1	2.36i	0.30 ef	0.0303 d	0.25h	2.94g	11.23 f	1240.31ef	27.87e
	C.B	3.17f	0.15 i	0.0193 i	0.20 j	3.17ef	4.40 ij	1199.70 fg	26.74ef
	平均值	2.3567	0.66	0.0205	0.2717	3.2617	22.2867	1293.823	23.2367
	变异系数 /%	39.58	77.89	53.80	37.35	30.63	77.47	38.03	19.48
	最小值	1.14	0.11	0.0027	0.08	1.74	4.05	712.72	12.85
最大值	5.42	1.47	0.0377	0.42	6.05	53.12	2259.23	68.33	
平均值	3.02	0.40	0.0211	0.25	3.63	12.66	1260.95	28.62	
标准差	1.22	0.37	0.0123	0.09	1.24	12.78	434.34	14.52	
变异系数 /%	40.22	93.52	58.12	36.61	34.20	101.01	34.45	50.73	

注: 同列不标有相同小写字母者表示品种间差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。

Note: The value in the same column without the same lowercase letter indicate significant difference among varieties ($P < 0.05$).

含量的变化范围为 0.11%~1.47%，平均值 0.40%。四种生物碱以降烟碱变异性较大，品种间存在显著差异，新烟草碱和假木贼碱变异性较小。

雪茄烟叶中存在较为严重的烟碱转化问题，烟碱转化率范围为 5.03%~53.12%，平均值为 12.66%，品种间烟碱转化率的变异系数高达 101.01%，说明在不同品种间存在着较大的差异。烟碱含量与降烟碱含量呈现相反的变化趋势。

从总体上看，茄芯品种与茄衣品种的 TSNA_s 前体物质存在显著的差异。与茄衣品种相比，茄芯品种的生物碱总量、烟碱含量、假木贼碱和新烟草碱含量的平均值较大，降烟碱含量和烟碱转化率的平均值较低，变异系数较小。表明茄衣品种总生物碱

含量较低，但是烟碱转化率较高，平均降烟碱含量高于茄芯烟叶。

2.1.2 不同雪茄烟品种烟叶硝酸盐含量的差异

分析结果表明（表 2），雪茄烟叶硝酸盐含量远远大于亚硝酸盐含量，不同雪茄品种硝酸盐含量变化范围相对较小，平均值为 1260.95 μg/g，亚硝酸盐含量的平均值为 28.62 μg/g，与降烟碱含量和烟碱转化率相比，硝酸盐和亚硝酸盐含量的变异系数在品种间的差异较小，这可能是由于试验的土壤条件和栽培管理较为一致，而硝酸盐和亚硝酸含量受栽培条件影响相对较大。所有品种中，BN 硝酸盐含量最高，其次为 DMD，以 OLOR 品种的硝酸盐含量最低。

表 3 不同雪茄品种 TSNA_s 含量及其比值比较
Tab. 3 Comparison of TSNA_s content and ratio of different cigar varieties

品种		含量 /(ng/g)					占总 TSNA _s 的比例 /%			
		NNN	NAT	NAB	NNK	TSNA _s	NNN	NAT	NAB	NNK
茄芯	MNC	1732.44e	2104.66b	113.79b	244.54e	4195.43 d	41.29	50.17	2.71	5.83
	MSCA	2754.29 c	2717.28 a	176.56 a	581.41 a	6229.54 b	44.21	43.62	2.83	9.33
	MFZS	809.96 j	1336.33e	53.26f	244.49 e	2444.03 h	33.14	54.68	2.18	10.00
	PC	496.03 k	365.61j	8.80m	137.68 i	1008.12 k	49.20	36.27	0.87	13.66
	MFPP	1080.07 h	1552.42d	65.27e	280.65 c	2978.41 f	36.26	52.12	2.19	9.42
	OLOR	3078.24 b	1821.05c	83.01 c	315.51 b	5297.81 c	58.10	34.37	1.57	5.96
	NJ	907.81 i	882.41 h	34.08ij	182.95 g	2007.25 j	45.23	43.96	1.70	9.11
	DMD	90.03 m	61.74 k	5.02n	24.96 k	181.74 m	49.54	33.97	2.76	13.73
	MKK	1253.05g	1090.19f	38.17h	236.55e	2617.96 gh	47.86	41.64	1.46	9.04
	CP	300.20 l	309.85 j	13.47l	167.35 h	790.88 i	37.96	39.18	1.70	21.16
	平均值	1250.21	1224.15	59.14	241.61	2775.12	44.28	43.00	2.13	8.71
	变异系数 /%	79.96	69.64	90.94	60.01	70.92	15.87	16.28	28.93	49.61
茄衣	CX2	2145.82d	1290.97e	42.75g	180.20 g	3659.74 e	58.63	35.27	1.17	4.92
	CX1	6643.85 a	974.92g	27.23k	113.10 j	7759.10 a	85.63	12.56	0.35	1.46
	GH-2	1220.78 g	724.15 i	34.03 j	270.11 d	2249.06 i	54.28	32.20	1.51	12.01
	BN	1567.27 f	864.69 h	72.62 d	163.45 h	2668.03 g	58.74	32.41	2.72	6.13
	GH-1	917.38 i	728.52 i	37.29hi	193.30 f	1876.48 j	48.89	38.82	1.99	10.30
	C.B	868.19 ij	1128.08f	33.49j	182.27 g	2212.02 i	39.25	51.00	1.51	8.24
	平均值	2227.22	951.89	41.24	183.74	3404.07	57.57	33.71	1.54	7.18
	变异系数 /%	99.44	23.77	39.27	27.72	65.24	27.04	37.02	51.46	53.29
	最小值	90.03	61.74	5.02	24.96	181.74	33.14	32.20	0.35	1.46
	最大值	6643.85	2717.28	176.56	581.41	7759.1	85.63	54.68	51.46	13.73
平均值		1616.59	1122.05	52.43	219.91	3010.98	49.26	39.51	1.84	9.39
标准差		1572.63	686.74	43.62	119.64	2016.76	12.56	10.30	0.70	4.50
变异系数 /%		97.28	61.20	83.21	54.41	66.98	25.49	26.07	38.27	47.95

2.2 不同雪茄烟品种烟叶 TSNA_s 含量分析

由表 3 可知,不同雪茄品种的 TSNA_s 含量及组成具有显著差异,不同雪茄品种的 TSNA_s 变异范围为 181.74~7759.1 ng/g,平均值为 3010.98 ng/g。TSNA_s 各组分平均含量以 NNN 含量最高,平均值为 1616.59 ng/g,且 NNN 含量的变异性最大,从最小值的 90.03 ng/g 到最大值的 6643.86 ng/g,变异系数为 0.97,NNN 含量的变化趋势与降烟碱含量和烟碱转化率一致,表明烟碱转化导致降烟碱含量增高与 NNN 含量增加密切相关。

分析 4 种 TSNA_s 占总 TSNA_s 的比例可知,雪茄烟叶中 NNN 和 NAT 平均值分别为 49.26% 和 39.57%,所占比例较高,是主要的 TSNA_s,但不同雪茄品种 NNN 和 NAT 占 TSNA_s 的比例差异显著,其中 NNN 百分比的变异范围最大,为 33.14%~85.63%,其受品种烟碱转化率的强烈影响,在高烟碱转化率品种中 NNN 占比极高。NAT 百分比的变异范围为 32.20%~54.68%。NNK 占总 TSNA_s 的比例平均为 9.39%,以 NAB 所占比例最低。

比较茄衣和茄芯两类品种可知,茄衣品种的 TSNA_s、NNN 含量显著高于茄芯, NAT、NNK 和

NAB 含量低于茄芯。茄衣和茄芯品种的 TSNA_s 含量平均值分别为 3404.07 ng/g 和 2775.12 ng/g。茄衣品种的 NNN 含量平均值为 2227.22 ng/g,是茄芯 NNN 含量的 1.78 倍。茄衣品种 NNN/TSNA_s 的平均值也高于茄芯品种。

2.3 TSNA_s 与生物碱、硝酸盐含量之间的相关性分析

对所测数据进行相关性分析,得到了不同雪茄品种 TSNA_s 与其前体物质之间的相关关系(表 4)。由分析结果可知,NNN 与降烟碱含量和烟碱转化率之间呈极显著正相关关系,相关系数分别为 0.802 和 0.794。TSNA_s 与降烟碱和烟碱转化率之间也存在极显著相关关系,相关系数分别为 0.676 和 0.672。NNN 含量与总 TSNA_s 含量相关系数高达 0.942,表明 NNN 含量对总 TSNA_s 含量贡献很大,NNN 含量增高是造成总 TSNA_s 含量增高的主要原因。此外,NAT 含量与新烟草碱和总生物碱总量相关系数也比较大。NNK 含量与烟碱呈极显著正相关,与降烟碱和烟碱转化率呈极显著负相关。烟碱与烟碱转化率和降烟碱含量之间呈负相关关系。硝酸盐与亚硝酸盐之间存在极显著正相关关系。

表 4 雪茄烟 TSNA_s 含量与生物碱、硝酸盐含量的相关系数

Tab.4 Correlation coefficient between TSNA_s content and alkaloid and nitrate content in cigars

	烟碱	降烟碱	假木贼碱	新烟草碱	总量	转化率	硝酸盐	亚硝酸盐	NNN	NAT	NAB	NNK	TSNA _s
烟碱	1												
降烟碱	-0.328**	1											
假木贼碱	0.594**	-0.168	1										
新烟草碱	0.515**	0.253*	0.519**	1									
总生物碱	0.870**	0.117	0.598**	0.695**	1								
转化率	-0.590**	0.923**	-0.290**	0.021	-0.174	1							
硝酸盐	-0.228*	0.153	0.064	-0.171	-0.177	0.289**	1						
亚硝酸盐	-0.109	-0.246*	-0.02	-0.394**	-0.256*	-0.161	0.554**	1					
NNN	-0.368**	0.802**	-0.232*	0.246*	0.016	0.794**	-0.03	-0.311**	1				
NAT	0.390**	-0.077	-0.024	0.426**	0.397**	-0.2	-0.176	-0.257*	0.194	1			
NAB	0.123	-0.057	-0.143	0.138	0.128	-0.035	0.471**	0.052	0.034	0.688**	1		
NNK	0.294**	-0.390**	-0.161	0.022	0.121	-0.404**	-0.135	-0.19	-0.175	0.665**	0.638**	1	
TSNA _s	-0.199	0.676**	-0.223*	0.349**	0.139	0.632**	-0.075	-0.360**	0.942**	0.509**	0.279**	0.094	1

注: 标有 * 者表示差异有统计学意义 ($P<0.05$), 标有 ** 者表示差异有高度统计学意义, ($P<0.01$), 无 * 者表示差异无统计学意义 ($P>0.05$)。

Note: the value followed by * indicate that the difference was statistically significant ($P<0.05$), the value followed by ** indicate that the difference was highly statistically significant, ($P<0.01$), and the value without * indicate that there was no significant difference ($P>0.05$).

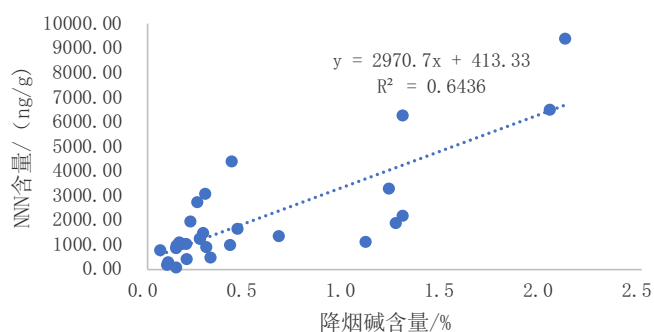


图1 NNN与降烟碱含量的相关关系

Fig.1 Correlation between NNN and normicotine content

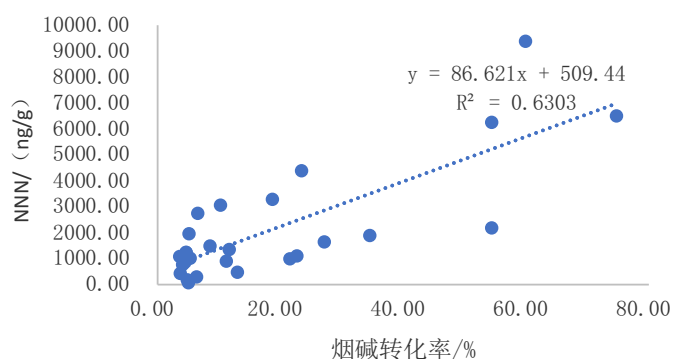


图2 NNN与烟碱转化率的相关关系

Fig.2 Correlation between NNN and nicotine conversion rate

3 讨论

生物碱是雪茄烟叶中一类核心化学成分,生物碱的组成和含量不仅直接影响雪茄的生理强度、满足感、香吃味等感官质量,而且作为烟草特有亚硝胺等有害物质的直接前体物对其形成和积累有重要影响^[1, 14-15]。本试验通过对我国引进的代表性雪茄品种进行分析测定,观察到雪茄烟叶普遍存在烟碱向降烟碱转化问题,一些雪茄品种调制和发酵后烟叶的平均烟碱转化率和降烟碱含量很高,表明烟株群体中存在大量烟碱转化能力很强的转化株。由于仲胺类的生物碱具有较大的不稳定性,降烟碱极易与亚硝酸发生亚硝化反应生成NNN,并导致总TSNA_s水平增高^[1, 16],本试验相关分析表明,雪茄烟叶中NNN和总TSNA_s含量与烟碱转化率和降烟碱含量存在极显著正相关关系,因此,在同一栽培、调制和发酵条件下烟碱向降烟碱转化导致降烟碱含量异常增高是雪茄烟叶NNN含量和总TSNA_s含量升高的主要原因。根据前人研究结果^[16],烟碱转化产生的降烟

碱多为S构型,由其产生的S构型NNN具有更大的危害性,所以在转化株中形成的TSNA_s有害性很大。烟碱转化性状是一种显性遗传,有效鉴别和去除转化株可以使烟株群体得以优化,选育低烟碱转化率雪茄品种,或者对现有雪茄品种进行纯化改良是降低雪茄烟叶TSNA_s含量的重要途径^[17]。

在雪茄烟中,四种TSNA_s中以NNN和NAT含量相对较高,其次为NNK,以NAB含量最低,在非转化株的烟叶中,NAT含量一般高于NNN含量,而在转化株烟叶中,由于NNN的大量形成,致使NNN的含量远远高于NAT,因此,NNN/NAT的值和占总TSNA_s的比例与烟碱转化率密切相关^[18]。本试验所试茄衣品种和茄芯品种总生物碱含量有一定差异,茄芯品种平均生物碱含量水平相对较高,但茄衣品种的烟碱转化率和降烟碱含量高于茄芯品种,进而使NNN含量形成增多,导致烟叶NNN含量和总TSNA_s含量的平均值较高。关于茄衣品种烟碱转化率高的原因可能主要是不同品种基因型造成的,有待进一步研究。本研究表明NNN含量与降烟碱关系显著,但NNK、NAT、NAB与相应的前体物相关性较小,这可能是因为各TSNA_s合成之间存在竞争。根据蔡斌等人的研究结果^[16],NNK、NAB和NAT的含量受NNN影响,即降烟碱可以和其它三个生物碱竞争亚硝化反应,所以当烟碱转化率较高时,其它三个生物碱与其亚硝化产物的相关性降低。本试验中,雪茄烟叶内的硝酸盐与和亚硝酸盐与TSNA_s含量之间的相关性较小,与之前研究报道有所不同^[19-20],本研究是在生态环境和栽培条件一致的条件下研究品种间的差异,由于烟碱转化性状是遗传突变造成的,因此烟碱转化导致的NNN含量相应增加也是遗传因素引起的结果,烟叶硝态氮含量受施氮量、氮素形态等栽培因素的强烈影响,因此,在栽培条件相对一致的试验条件下,硝态氮含量变化较小,其对TSNA_s形成的影响容易被遗传因素形成的影响而掩盖。

4 结论

雪茄烟品种不同程度上存在烟碱向降烟碱转化问题,品种间降烟碱含量和烟碱转化率存在显著差异。雪茄烟叶样品NNN和TSNA_s含量与降烟碱含量和烟碱转化率存在极显著的正相关关系,烟碱转化导致降烟碱含量增高是雪茄烟叶NNN和TSNA_s含量增高的直接原因,对雪茄品种进行烟碱转化性状改良是降低雪茄烟叶TSNA_s含量的有效途径。

参考文献

- [1] 史宏志. 烟草烟碱向降烟碱转化. 北京: 科学出版社, 2013.
SHI Hongzhi. Transformation of nicotine from tobacco to healthy nicotine. Beijing: science press, 2013.
- [2] Bush L P, Fannin F F, Chelvarajan R L, Burton H R. Biosynthesis and Metabolism of Nicotine and Related Alkaloids. In: Corrod J W, Wahren J, eds. Nicotine and Related Alkaloids. London: Chapman & Hall, 1993.pp 101-128
- [3] 史宏志, 刘国顺. 白肋烟烟碱转化及烟草特有亚硝胺形成 [J]. 中国烟草学报, 2008, 14(S1): 41-46.
SHI Hongzhi, LIU Guoshun. Nicotine conversion and formation of tobacco-specific nitrosamines in burley tobacco, 2008, 14(S1): 41-46.
- [4] Bush L P, Cui M W, Shi H, et al. Formation of tobacco-specific nitrosamines in air-cured tobacco[J]. Recent Advances in Tobacco Science, 2001, 27: 23-46.
- [5] International Agency for Research on Cancer. Smokeless tobacco and tobacco-specific nitrosamines; IARC Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans 89. Lyon, France: IARC, 2007.
- [6] 谢剑平, 刘惠民, 朱茂祥, 等. 卷烟烟气危害性指数研究 [J]. 烟草科技, 2009(02): 5-15.
XIE Jianping, LIU Huimin, ZHU Maoxiang, et al. Development of a novel hazard index of main stream cigarette smoke and its application on risk evaluation of cigarette products[J]. Tobacco science and technology, 2009(02): 5-15.
- [7] 史宏志, 徐发华, 杨兴有, 等. 不同产地和品种白肋烟烟草特有亚硝胺与前体物关系 [J]. 中国烟草学报, 2012, 18(5): 9-15.
SHI Hongzhi, XU Fahua, YANG Xingyou, et al. Relationship between nitrosamines and precursors in burley tobacco from different habitats and varieties. Chinese journal of tobacco, 2012, 18(5): 9-15.
- [8] SHI Hongzhi, Wang RY, Bush LP, et al. The relationships between TSNAs and their precursors in burley tobacco from different regions and varieties. Journal of Food Agriculture and Environment, 2012, 10(3-4): 1048-1052.
- [9] 李超, 史宏志, 刘国顺. 烟草烟碱转化及生物碱优化研究进展 [J]. 河南农业科学, 2007(06): 14-17.
LI Chao, SHI Hongzhi, LIU Guoshun. Research Progress in Nicotine Conversion and Alkaloid Optimization of Tobacco[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2007(06): 14-17.
- [10] 史宏志, 李进平, 李宗平, 等. 遗传改良降低白肋烟杂交种烟碱转化率研究 [J]. 中国农业科学, 2007, 40(1): 153-160.
SHI Hongzhi, LI Jinping, LI Zongping, et al. Study on reduction of nicotine conversion rate of burley hybrid strains by genetic improvement. Chinese journal of agricultural sciences, 2007, 40(1): 153-160.
- [11] 史宏志, 李进平, 李宗平, 等. 白肋烟杂交种烟碱转化性状的改良 [J]. 河南农业大学学报, 2007(01): 21-24
SHI Hongzhi, LI Jinping, LI Zongping, et al. Improvement of Nicotine Transformation Traits in Burley Tobacco Hybrids[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2007(01): 21-24
- [12] 王瑞新. 烟草化学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
WANG Ruixin. Tobacco Chemistry [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003.
- [13] ZHOU Jun, BAI Ruoshi, ZHU Yongfa. Determination of four tobacco-specific nitrosamines in mainstream cigarette smoke by gas chromatography/ion trap mass spectrometry[J]. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 2007, 21(24): 4086-4092.
- [14] 史宏志, Bush LP, Krauss M. 烟碱向降烟碱转化对烟叶麦斯明和 TSNA 含量的影响 [J]. 烟草科技, 2004, (10): 27-30.
SHI Hongzhi, Bush LP, Krauss M. Effect of transformation from nicotine to nornicotine on the content of methamine and TSNA in tobacco leaves. Tobacco Science and Technology, 2004, (10): 27 / 30.
- [15] 史宏志, 李进平, Bush L P, 等. 烟碱转化率与卷烟感官评吸品质和烟气 TSNA 含量的关系 [J]. 中国烟草学报, 2005, 11(2): 9-14.
SHI Hongzhi, LI Jinping, Bush LP, et al. The relationship between nicotine conversion and sensory evaluation of cigarette smoking quality and TSNA content in smoke [J]. Chinese Journal of Tobacco, 2005, 11(2): 9-14.
- [16] Cai B, Ji H, Fannin F F, et al. Contribution of nicotine and nornicotine toward the production of N'-Nitrosanornicotine in air-cured tobacco (Nicotiana tabacum)[J]. Journal of Natural Products, 2016, 79(4): 754-759.
- [17] 孙红恋, 周海燕, 史宏志, 等. 基于不同烟碱转化株鉴别标准的白肋烟品种改良效果 [J]. 中国烟草学报, 2014, 22(3): 56-62.
SUN Honglian, ZHOU Haiyan, SHI Hongzhi, et al. Improvement effect of burley varieties based on identification standard of different nicotine converter[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2014, 22(3): 56-62.
- [18] 赵永利, 史宏志, 杨兴有, 等. 白肋烟烟碱转化率与生物碱含量及新烟草碱 / 降烟碱值的关系 [J]. 河南农业大学学报, 2009(2): 29-32.
ZHAO Yongli, SHI Hongzhi, YANG Xingyou, et al. Relationship between nicotine conversion rate and alkaloid content and neocine/nicotine-lowering alkali value in burley tobacco. Journal of henan agricultural university, 2009, 43(2): 29-32.
- [19] 王瑞云. 烟草贮藏过程中 TSNA 形成及民温度和硝酸盐含量的关系 [D]. 河南农业大学, 2014.
WANG Ruiyun. TSNA formation and the relationship between temperature and nitrate content during tobacco storage [D]. Henan agricultural university, 2014.
- [20] 孙楦淑, 王俊, 周骏, 等. 硝态氮含量对烟叶高温贮藏过程中 TSNA 形成的影响 [J]. 中国烟草学报, 2015, 21(02): 53-58.
SUN Wunshu, WANG Jun, ZHOU Jun, et al. Effect of nitrate nitrogen content on TSNA formation during high-temperature storage of tobacco leaves [J]. Chinese journal of tobacco science, 2015, 21(02): 53-58.

Nicotine conversion rate of 16 cigar varieties and its relationship with TSNAs content in fermented tobacco leaves

ZHOU Di¹, SUN Yuqi¹, SHI Hongzhi¹, YANG Xingyou^{2,3}, ZHOU Jun⁴, LU Ximei¹,
BAI Ruoshi⁴, YANG Weili², ZHAO Yuanyuan¹, QIN Yanqing²

1 National Tobacco Cultivation & Physiology & Biochemistry Research Center, Tobacco Cultivation Key Laboratory of China Tobacco,
Tobacco Harm Reduction Research Center Zhengzhou 450002, China;

2 Dazhou Municipal Tobacco Company, Dazhou 635000, Sichuan, China;

3 Sichuan Provincial Tobacco Company, Chengdu 600041, China;

4 Shanghai Tobacco Group Beijing Cigarette Factory, Tongzhou District, Beijing 100024, China

Abstract: [Objective] This study aims to investigate the difference in nicotine conversion rate among different cigar varieties as well as the relationship between nicotine conversion rate and TSNAs content in cigar tobacco. [Methods] The alkaloids, nitrate and TSNAs contents in the middle leaves of 16 cigar varieties were analyzed. [Results] 1) All cigar varieties had the problem of nicotine to nornicotine conversion at different degrees. The nicotine contents of 16 cigar varieties were in the range of 1.14% to 5.42%, averaging at 3.02%; and nornicotine contents changed in the range from 0.11% to 1.47%, averaging at 0.40%. The nicotine conversion rate ranged from 5.03% to 53.12%, with the average value of 12.66%, and the variation coefficient of nicotine conversion among varieties was as high as 101.01%. 2) The average nornicotine content and nicotine conversion rate of cigar wrapper varieties were significantly higher than those of cigar filler varieties. 3) The content and proportion of TSNAs in tobacco leaves of different cigar tobacco varieties were significantly different. The variation range of total TSNAs content was 181.74~7759.1 ng/g, with an average of 3010.98 ng/g. The content of NNN was the highest, with the average value of 1616.59 ng/g, and the variability was also the highest, with the coefficient of variation as high as 97.28%. 4) Correlation analysis showed that there was a significant positive correlation between nornicotine content and NNN and TSNAs content in 16 cigar tobacco varieties, with the correlation coefficient between NNN and nornicotine content reaching 0.802. [Conclusion] The high level of nornicotine content resulted from nicotine conversion is one of the main cause for the increased formation and accumulation of NNN and total TSNAs in cigar tobacco leaves.

Keywords: cigar; varieties; nicotine conversion; TSNAs; nicotine; nornicotine

*Corresponding author. Email: shihongzhi88@163.com