

3 种类型烟草种质资源烟叶生物碱等化学成分差异性分析

许美玲¹, 焦芳婵¹, 贺晓辉², 吴兴富¹, 冯智宇¹

1. 云南省烟草农业科学研究院, 云南昆明 650021; 2. 云南省香料烟有限责任公司, 云南保山 678000

摘要: 为筛选能为科研、生产和育种利用的优异烟草种质资源。对来源于国内外的 141 份烤烟、18 份白肋烟和 6 份雪茄烟的烟叶常规化学成分和主要生物碱进行检测、比较和聚类分析。结果表明: 总糖和还原糖含量以烤烟最高, 总氮、烟碱和氧化钾以白肋烟种质最高。总植物碱和烟碱含量以烤烟种质自来黄 2243 最高, 雪茄烟种质 Dutch (Ohio) 最低; 降烟碱和烟碱转化率以烤烟种质平板柳叶最高, 以烤烟种质二性子和白肋烟种质 Burley11B 最低。聚类分析将 165 份种质分成 4 类, 烤烟种质主要集中在第 1 和第 4 类, 其主要特征是总糖和还原糖含量较高, 烟碱转化率较低; 第 2 类的总糖和还原糖含量低, 总氮、总植物碱和氧化钾含量高; 第 3 类的烟碱和总植物碱含量低, 降烟碱含量高, 烟碱转化率高。不同类型种质资源的化学成分和生物碱差异明显, 筛选出的不同梯度烟碱的种质可为烟碱的进一步研究提供材料支撑。

关键词: 烟草种质; 化学成分; 总植物碱; 烟碱; 降烟碱; 烟碱转化率

中图分类号: S572 文献标识码: A

Difference Analysis of Alkaloids as well as its Chemical Composition of Tobacco Leaves for Three Types of Tobacco Germplasm Resources

XU Meiling¹, JIAO Fangchan¹, HE Xiaohui², WU Xingfu¹, FENG Zhiyu¹

1. Yunnan Academy of Tobacco Agricultural Sciences, Kunming, Yunnan 650021, China; 2. Yunan Oriental Tobacco Company Co., Ltd., Baoshan, Yunnan 678000, China

Abstract: The study was aimed to screen out the excellent tobacco germplasm resources which could be used in the field of scientific research, production and breeding. Conventional chemical composition and major alkaloids were tested, compared and clustered for 141 flue-cured tobacco, 18 burly tobacco and 6 cigar germplasm resources from China and abroad. Total sugar and reducing sugar contents were high in flue-cured tobacco germplasms, while total nitrogen, nicotine and potassium oxide were high in burley tobacco germplasms. Total alkaloid and nicotine content were the highest in flue-cured tobacco germplasm Zilaihuang 2243, and the content of cigar germplasm Dutch (ohio) was the lowest. The nicotine and nicotine conversion rates were the highest in the tobacco germplasm Pingbanliu, and those for tobacco germplasm Erxingzi and Burley11B was the lowest. The 165 accessions were divided into 4 groups for clustering analysis. Flue-cured tobacco germplasms were mainly concentrated in Group 1 and 4, characterized by high total and reducing sugar content and low nicotinic conversion rate. Group 2 was low in total and reducing sugars, and high in total nitrogen, total alkaloids and potassium oxide. Group 3 had low nicotinoids and total alkaloids, high nicotinic reduction, and high nicotinic conversion rate. The chemical composition and alkaloids of different germplasm resources have significant difference. The selected germplasms with different gradients could provide useful material for further study of nicotine.

Keywords: tobacco germplasm; chemical composition; total alkaloids; nornicotine; nornicotine; percent nicotine conversion

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.01.011

收稿日期 2022-07-26; 修回日期 2022-10-09

基金项目 中国烟草总公司项目[No. 110202101011(XJ-03)]; 中国烟草总公司云南省公司项目 (No. 2021530000241001, No. 2021530000242028)。

作者简介 许美玲 (1963—), 女, 硕士, 研究员, 研究方向: 烟草种质资源; E-mail: lqlxumeiling@sina.com。

烟草中生物碱达 50 余种,其中最主要是烟碱、降烟碱、假木贼碱和新烟草碱等^[1],其含量烟碱>新烟草碱>降烟碱>假木贼碱^[2-3]。烟碱是烟草中重要的生物碱,正常情况下,烟碱含量占总生物碱含量的 93%以上^[4],降烟碱含量一般不超过总生物碱含量的 3%^[5]。降烟碱极易发生亚硝化反应生成亚硝酸和烟草特有亚硝基降烟碱(NNN)^[6],随着降烟碱含量的升高,NNN 含量呈直线增加^[7],烟碱转化导致降烟碱含量增高而影响烟叶的品质和安全性^[8],而随着烟碱转化程度的提高,白肋烟风格下降,香气量变少,香气质变劣,杂气增加,主要香气物质含量降低^[9]。研究发现,烟碱转化率与烟碱含量呈极显著负相关,而与降烟碱含量呈极显著正相关;新烟草碱含量和假木贼碱含量与烟碱转化率无显著相关关系^[10];不同类型的烟草、不同的研究材料其总生物碱、烟碱和降烟碱含量有差异。其中,总生物碱和烟碱含量晒烟>白肋烟>烤烟>马里兰烟>香料烟,降烟碱的含量和烟碱转化率以白肋烟最高,烤烟最低,香料烟、马里兰烟和地方晒烟均存在烟碱转化问题,降烟碱也有烤烟较高的情况^[11-17]。我国国家烟草种质库目前已编目烟草资源 5267 份^[18],云南也收集保存并编目烟草资源 3076 份,编写出版了《烟草种质资源图鉴》,编入各类型烟草资源 1477 份^[19],本项目选择来自中国主要烟叶产区省份和美国、古巴等国家的 165 份 3 个类型烟草种质资源进行

分析研究,以找出不同烟草类型、不同品种和不同来源地资源的生物碱差异,并筛选出优异资源为烟草育种、科研和生产提供材料支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

从云南省烟草农业科学研究院种质库中保存的 3076 份烟草种质资源中,按 5%左右的比例抽取不同产地的资源,主要来自中国河南、山东、山西、安徽、贵州、黑龙江、辽宁、福建等省份及美国和古巴等国家的烟草种质资源 165 份,其中,烤烟 141 份、白肋烟 18 份、雪茄烟 6 份(表 1)。试验位于云南省玉溪市研和镇的云南省烟草农业科学研究院试验基地,采用随机区组设计,重复 3 次,每个小区 20 株,行距 1.20 cm,株距 0.50 cm,每公顷施纯氮 97.5 kg, N:P₂O₅:K₂O=1.0:0.5:3.0, 18 份白肋烟种质资源施肥量加倍;种植土壤为砂壤土, pH 6.41,含有机质 11.20 g/kg、全氮 0.56 g/kg、全磷 1.03 g/kg、全钾 6.45 g/kg,有效氮 84 mg/kg、有效磷 91 mg/kg,有效钾 162 mg/kg。按优质烟种植技术规范进行管理,成熟烟叶分小区采收,编秆后统一进行烘烤和晾晒调制,取中部烟叶各种质重复混合烟叶样品,送云南三标农林科技有限公司检测常规化学成分(总糖、还原糖、总氮、烟碱、水溶性氯、氧化钾、淀粉)和主要生物碱(烟碱、降烟碱、新烟草碱、假木贼碱)等。

表 1 烟草种质资源基本信息
Tab. 1 Basic information for each tobacco germplasm resources

序号 No.	类型 Type	种质名称 Germplasm name	来源地 Origin	序号 No.	类型 Type	种质名称 Germplasm name	来源地 Origin
1	烤烟	大柳叶 2012	中国河南	16	烤烟	伏市小片孜	中国福建
2	烤烟	大柳叶 2013	中国河南	17	烤烟	福泉折烟	中国贵州
3	烤烟	大柳叶 2016	中国河南	18	烤烟	高棵白筋	中国河南
4	烤烟	大柳叶 2018	中国河南	19	烤烟	核桃纹 2475	中国河南
5	烤烟	大柳叶 2020	中国河南	20	烤烟	黑柳子	中国安徽
6	烤烟	大柳叶 2024	中国河南	21	烤烟	黑苗 2308	中国河南
7	烤烟	大青筋	中国山东	22	烤烟	黑苗 2319	中国河南
8	烤烟	大青叶	中国安徽	23	烤烟	黑苗 2321	中国河南
9	烤烟	大竖把 2114	中国河南	24	烤烟	黑苗 2322	中国河南
10	烤烟	大竖把 2141	中国河南	25	烤烟	黑苗 2327	中国河南
11	烤烟	大型黄金	中国山东	26	烤烟	黑苗 2340	中国河南
12	烤烟	单选 G-28	中国辽宁	27	烤烟	黑苗 2341	中国河南
13	烤烟	定远平板	中国安徽	28	烤烟	黑苗 2344	中国河南
14	烤烟	二苯烟	中国河南	29	烤烟	黑苗白筋 2338	中国河南
15	烤烟	二性子	中国山东	30	烤烟	黑苗白筋 2311	中国河南

续表 1 烟草种质资源基本信息

Tab. 1 Basic information for each tobacco germplasm resources (continued)

序号 No.	类型 Type	种质名称 Germplasm name	来源地 Origin	序号 No.	类型 Type	种质名称 Germplasm name	来源地 Origin
31	烤烟	黑苗核桃纹	中国河南	75	烤烟	龙里小黄烟	中国贵州
32	烤烟	黑苗毛烟	中国河南	76	烤烟	麻江立烟	中国贵州
33	烤烟	黑苗烟 2343	中国河南	77	烤烟	麻江柳叶烟	中国贵州
34	烤烟	黑苗烟 2347	中国河南	78	烤烟	湄潭黑团壳	中国贵州
35	烤烟	高干青	中国安徽	79	烤烟	湄潭龙坪多叶	中国贵州
36	烤烟	黄苗 2211	中国河南	80	烤烟	湄潭枇杷黄	中国贵州
37	烤烟	黄苗 2218	中国河南	81	烤烟	湄潭铁杆烟	中国贵州
38	烤烟	黄苗 2220	中国河南	82	烤烟	牡单 79-2	中国黑龙江
39	烤烟	黄苗二苯烟 2245	中国河南	83	烤烟	牡单 82-11-2	中国黑龙江
40	烤烟	黄苗码子稠	中国河南	84	烤烟	偏筋黄 1036	中国山东
41	烤烟	黄苗竖把 2219	中国河南	85	烤烟	平板柳叶	中国安徽
42	烤烟	黄苗竖把 2240	中国河南	86	烤烟	泼拉机	中国河南
43	烤烟	黄苗榆 2227	中国河南	87	烤烟	黔南 1 号	中国山东
44	烤烟	黄苗榆 2234	中国河南	88	烤烟	黔南 2 号	中国山东
45	烤烟	尖烟洋苗	中国河南	89	烤烟	黔南 3 号	中国山东
46	烤烟	晋太 12-3	中国山西	90	烤烟	黔南 7 号	中国山东
47	烤烟	晋太 125-11	中国山西	91	烤烟	黔南 9 号	中国山东
48	烤烟	晋太 18-6	中国山西	92	烤烟	曲沃柳叶烟	中国山东
49	烤烟	晋太 207	中国山西	93	烤烟	三八烟	中国河南
50	烤烟	晋太 29-0	中国山西	94	烤烟	三保险 2440	中国河南
51	烤烟	晋太 309	中国山西	95	烤烟	色烟 1063	中国山东
52	烤烟	晋太 309-5	中国山西	96	烤烟	竖把 2135	中国河南
53	烤烟	晋太 309-8	中国山西	97	烤烟	竖把大柳叶 2131	中国河南
54	烤烟	晋太 38	中国山西	98	烤烟	竖把大柳叶 2133	中国河南
55	烤烟	晋太 3 号	中国山西	99	烤烟	竖把柳叶 2110	中国河南
56	烤烟	晋太 49	中国山西	100	烤烟	竖把柳叶 2116	中国河南
57	烤烟	晋太 49-9	中国山西	101	烤烟	竖把小柳叶	中国河南
58	烤烟	晋太 66-15	中国山西	102	烤烟	竖叶子 0982	中国河南
59	烤烟	晋太 66-20	中国山西	103	烤烟	竖叶子 0987	中国河南
60	烤烟	晋太 66-4	中国山西	104	烤烟	松边黄苗榆 2202	中国河南
61	烤烟	晋太 6 号	中国山西	105	烤烟	胎里富 1060	中国山东
62	烤烟	晋太 75	中国山西	106	烤烟	滕县金星	中国山东
63	烤烟	晋太 75-1	中国山西	107	烤烟	弯梗子	中国安徽
64	烤烟	晋太 76-2	中国山西	108	烤烟	王坡二	中国河南
65	烤烟	晋太 76-3	中国山西	109	烤烟	窝罗心	中国安徽
66	烤烟	晋太 766	中国山西	110	烤烟	武鸣 4 号	中国山东
67	烤烟	晋太 88	中国山西	111	烤烟	小白筋 2507	中国河南
68	烤烟	晋太 9 号	中国山西	112	烤烟	小白筋 2514	中国河南
69	烤烟	巨香 73	中国山东	113	烤烟	小白筋 2515	中国河南
70	烤烟	烤烟	中国河南	114	烤烟	小白筋 2516	中国河南
71	烤烟	葵花烟 2437	中国河南	115	烤烟	小白筋变种	中国河南
72	烤烟	柳叶尖 0694	中国山东	116	烤烟	小黑柳	中国安徽
73	烤烟	柳叶尖 0695	中国山东	117	烤烟	小黄金 0003	中国山东
74	烤烟	柳叶烟 2028	中国河南	118	烤烟	小黄金 0007	中国山东

续表 1 烟草种质资源基本信息
Tab. 1 Basic information for each tobacco germplasm resources (continued)

序号 No.	类型 Type	种质名称 Germplasm name	来源地 Origin	序号 No.	类型 Type	种质名称 Germplasm name	来源地 Origin
119	烤烟	小黄金 0008	中国山东	143	白肋烟	GR14	美国
120	烤烟	小黄金 0019	中国山东	144	白肋烟	GR17B	美国
121	烤烟	小黄金 0022	中国山东	145	白肋烟	GR36	美国
122	烤烟	小黄金 0029	中国山东	146	白肋烟	Barnett Special	美国
123	烤烟	小黄金 0091	中国山东	147	白肋烟	Blue Star100	美国
124	烤烟	小黄金 0137	中国山东	148	白肋烟	Burley1	美国
125	烤烟	小黄金 0138	中国山东	149	白肋烟	Burley2	美国
126	烤烟	小黄金 0203	中国山东	150	白肋烟	Burley10A	美国
127	烤烟	小黄金 5209	中国山东	151	白肋烟	Burley11B	美国
128	烤烟	小黄金子 0009	中国山东	152	白肋烟	Burley21 (V246-Rhodesia)	美国
129	烤烟	小尖梢	中国安徽	153	白肋烟	Burley37	美国
130	烤烟	小老母鸡	中国辽宁	154	白肋烟	Burley49	美国
131	烤烟	小柳叶 2027	中国河南	155	白肋烟	Burley64	美国
132	烤烟	小竖把 2137	中国河南	156	白肋烟	Ex.12	美国
133	烤烟	小竖把 2146	中国河南	157	白肋烟	GR10A	美国
134	烤烟	新铺 1 号	中国山东	158	白肋烟	GR17	美国
135	烤烟	新铺 2 号	中国山东	159	白肋烟	GR18	美国
136	烤烟	掩心烟 2441	中国河南	160	雪茄烟	Havana 501	古巴
137	烤烟	原黑苗	中国河南	161	雪茄烟	Havana 503b	古巴
138	烤烟	圆叶稠码	中国河南	162	雪茄烟	Dutch (Ohio)	美国
139	烤烟	云 80-1	中国福建	163	雪茄烟	Greider	美国
140	烤烟	自来黄 2243	中国河南	164	雪茄烟	Long Red	美国
141	烤烟	K326	美国	165	雪茄烟	PA 60-19	美国
142	白肋烟	GR10	美国				

1.2 方法

参照 YC/T 159—2002 测定水溶性糖含量, 参照 YC/T 166—2003 测定总蛋白质含量, 参照 YCT 160—2002 测定总植物碱含量, 参照 YC/T 173—2003 测定钾含量, 参照 YC162—2002 测定氯含量, 参照 GB/T 5009.9—2003 测定淀粉含量, 采用气相色谱/质谱分析烟草中的主要生物碱。按以下公式计算烟碱转化率: 烟碱转化率=[降烟碱/(烟碱+降烟碱)]×100%。

1.3 数据处理

采用 Excel 软件进行数据统计分析和作图, 采用 DPS 软件进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 化学成分描述性统计

由表 2 可知, 总糖和还原糖含量最高的为烤烟种质湄潭黑团壳, 雪茄烟种质 Havana 503b 和白肋烟种质 Blue Star100 最低; 总植物碱含量以

烤烟种质自来黄 2243 最高, 雪茄烟种质 Dutch (Ohio)最低; 氧化钾含量以雪茄烟种质 Havana 503b 最高, 烤烟种质湄潭黑团壳最低。生物碱中的烟碱、降烟碱、新烟碱、假木贼碱等含量最高、最低值均为烤烟种质, 烟碱转化率以烤烟种质平板柳叶最高, 白肋烟种质 Burley11B 最低。变异系数除降烟碱和烟碱转化率较高 (218.23%和 262.74%), 为强变异性, 其余成分的 CV 为 17.13%~80.40%, 均为中变异性。

2.2 不同类型的烟草种质资源化学成分差异

2.2.1 化学成分总体差异 3 种类型的烟草种质资源的化学成分中, 总糖、还原糖和总植物碱含量以烤烟最高, 雪茄烟和白肋烟较低; 总氮和氧化钾含量以白肋烟种质为高, 总氮含量烤烟和雪茄烟较低, 总植物碱含量以雪茄烟 Dutch (Ohio)最低, 氧化钾含量以烤烟最低, 淀粉含量以烤烟最高, 雪茄烟和白肋烟较低。变异系数以雪茄烟的总植物碱含量最高 (106.31%), 为强变异性, 其余成分

为中变异性。化学成分的最大值、最小值、平均值、变异系数等不同类型烟草种质间有差异,白肋烟种质的总氮含量变异系数较小(9.61%),为弱变异性,雪茄烟种质总植物碱含量的变异系数较大(106.31%),为强变异性,其余各项为中变异性;各类烟草各化学成分的极值及其对应种质中,湄潭黑团壳、小黄金 0003、Burley2、GR10、Greider 等种质有 2 项以上的最大值或最小值(表 3)。

表 2 烟草种质资源的化学成分描述性统计
Tab. 2 Descriptive statistics of individual chemical component of germplasm resources

成分 Component	最大值 Max	最大值种质/类型 Max germplasm/type	最小值 Min	最小值种质/类型 Min germplasm/type	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%
总糖/%	28.30	湄潭黑团壳/烤烟	0.53	Havana 503b/雪茄烟	12.35	7.04	57.00
还原糖/%	23.30	湄潭黑团壳/烤烟	0.30	Blue Star100/白肋烟	9.53	5.49	57.62
总氮/%	5.21	Burley37/白肋烟	2.05	晋太 75-1/烤烟	2.95	0.51	17.13
总植物碱/%	5.21	自来黄 2243/烤烟	0.41	Dutch (Ohio)/雪茄烟	2.24	1.01	44.90
水溶性氯/%	0.76	平板柳叶/烤烟	0.06	PA 60-19/雪茄烟	0.18	0.11	60.78
氧化钾/%	6.08	Havana 503b/雪茄烟	1.02	湄潭黑团壳/烤烟	2.64	0.93	35.25
淀粉/%	3.69	新铺 2 号/烤烟	0.17	GR17B/白肋烟	0.82	0.66	80.40
烟碱/(mg·g ⁻¹)	44.12	自来黄 2243/烤烟	0.99	小黄金 0003/烤烟	16.95	8.24	48.60
降烟碱/(mg·g ⁻¹)	12.48	平板柳叶/烤烟	0.03	二性子/烤烟	0.76	1.65	218.23
新烟碱/(mg·g ⁻¹)	0.75	小尖梢/烤烟	0.03	二性子/烤烟	0.23	0.14	59.76
假木贼碱/(mg·g ⁻¹)	0.21	大柳叶 2013/烤烟	0.01	二性子/烤烟	0.04	0.02	59.83
烟碱转化率/%	89.64	平板柳叶/烤烟	0.28	Burley11B/白肋烟	6.54	17.17	262.74

表 3 各类烟草种质资源化学成分差异
Tab. 3 Differences in the chemical composition of different types of tobacco germplasm resources

类型 Type	成分 Component	最大值 Max/%	最大值种质/类型 Max germplasm/type	最小值 Min/%	最小值种质/类型 Min germplasm/type	平均值 Mean/%	标准差 SD/%	变异系数 CV/%
烤烟	总糖	28.28	湄潭黑团壳	2.72	竖把柳叶 2110	14.39	5.70	39.61
	还原糖	23.33	湄潭黑团壳	2.43	竖把柳叶 2110	11.10	4.50	40.56
	总氮	4.18	黑苗 2308	2.05	晋太 75-1	2.84	0.35	12.17
	总植物碱	5.21	自来黄 2243	0.56	小黄金 0003	2.27	0.98	43.29
	水溶性氯	0.76	平板柳叶	0.08	小黄金 0003	0.20	0.12	59.86
	氧化钾	4.19	麻江立烟	1.02	湄潭黑团壳	2.36	0.62	26.33
	钾氯比	36.00	核桃纹 2475	2.37	湄潭黑团壳	16.16	8.59	53.14
	淀粉	3.69	新铺 2 号	0.28	晋太 38	0.93	0.68	72.87
白肋烟	总糖	2.10	Burley2	0.53	Blue Star100	0.94	0.45	47.73
	还原糖	1.79	Burley2	0.30	Blue Star100	0.74	0.44	60.02
	总氮	5.21	Burley37	3.47	GR10A	3.99	0.38	9.61
	总植物碱	4.64	Burley37	0.68	Burley1	2.52	0.99	39.05
	水溶性氯	0.18	GR10	0.09	Burley1	0.12	0.03	22.70
	氧化钾	5.32	Burley64	3.59	Barnett Special	4.47	0.50	11.16
	钾氯比	56.22	GR10A	22.89	GR10	39.06	9.12	23.34
	淀粉	0.30	GR10	0.17	GR17B	0.22	0.04	17.50
雪茄烟	总糖	2.85	Greider	0.53	Havana 503b	1.31	0.96	73.15
	还原糖	2.72	Greider	0.35	Havana 503b	1.17	0.95	80.76
	总氮	3.64	Havana 501	2.08	PA 60-19	2.76	0.55	19.94
	总植物碱	4.37	Greider	0.41	Dutch(Ohio)	1.41	1.50	106.31
	水溶性氯	0.17	Greider	0.06	PA 60-19	0.11	0.04	37.57
	氧化钾	6.08	Dutch(Ohio)	1.58	Greider	3.31	1.53	46.35
	钾氯比	60.00	PA 60-19	9.29	Greider	34.55	17.70	51.22
	淀粉	0.45	Havana 501	0.26	Havana 503b	0.34	0.07	21.42

2.2.2 烤烟种质资源化学成分差异 141 份烤烟种质烟叶的化学成分差异较大。其中，总糖含量较高（>24.00%）的 7 份，在 18.00%~24.00%适宜范围的 33 份；总氮含量除黑苗 2308、黑苗白筋 2338、竖把柳叶 2110、自来黄 2243>3.50%外，其余种质均在 2.01%~3.50%适宜范围；总植物碱含量>5.00%的 2 份，4.01%~5.00%的 4 份，3.01%~4.00%的 23 份，<1.50%的 38 份，其余种质在 1.50%~3.5%之间；氧化钾含量为 4.01%~5.00%的 5 份，3.01%~4.00%的 18 份，2.01%~3.00%的 83 份（表 4）。

表 4 烤烟种质的主要化学成分含量范围
Tab. 4 Range of major chemical components content of flue-cured tobacco germplasm resources

成分 Component	范围 Range/%	份数 Number	种质资源 Germplasm resource
总糖	>24.00	7	湄潭黑团壳、晋太 75-1、小黄金子 0009、巨香 73、黄苗码子稠、晋太 76-3、高干青
	18.01~24.00	33	湄潭枇杷黄、高棵白筋、黄苗二苯烟 2245、新铺 2 号、晋太 49-9、窝罗心、小黑柳、小黄金 0008、黄苗榆 2234、K326、湄潭龙坪多叶、大型黄金、晋太 49、黄苗榆 2227、小黄金 0007、晋太 309-8、定远平板、单选 G-28、麻江柳叶烟、小黄金 0203、晋太 18-6、黄苗 2220、晋太 125-11、柳叶尖 0694、伏市小片孜、晋太 3 号、晋太 29-0、大青叶、黑苗烟 2343、尖烟洋苗、小黄金 0022、黑苗 2341、二性子
	5.01~18.00	96	烤烟种质 96 份
	0.53~5.00	5	三保险 2440、黑苗白筋 2338、竖叶子 0982、黑苗 2308、竖把柳叶 2110
	>22.00	2	湄潭黑团壳、晋太 75-1
还原糖	16.00~22.00	17	巨香 73、晋太 49-9、晋太 76-3、黄苗码子稠、窝罗心、高干青、小黄金子 0009、黄苗二苯烟 2245、湄潭枇杷黄、晋太 309-8、高棵白筋、K326、定远平板、小黄金 0008、单选 G-28、黄苗榆 2227、湄潭龙坪多叶
	5.01~16.00	114	烤烟 114 份
	0.30~5.00	8	竖把大柳叶 2133、平板柳叶、黔南 3 号、三保险 2440、竖叶子 0982、黑苗白筋 2338、黑苗 2308、竖把柳叶 2110
总氮	3.51~5.21	4	黑苗 2308、黑苗白筋 2338、竖把柳叶 2110、自来黄 2243
	2.01~3.50	137	烤烟 137 份
总植物碱	>5.00	2	自来黄 2243、松边黄苗榆 2202
	4.51~5.00	1	黑苗白筋 2338
	4.01~5.00	3	竖把柳叶 2116、晋太 207、小尖梢
	3.51~4.00	9	胎里富 1060、黑柳子、黑苗烟 2347、小黄金 0029、三八烟、小黄金 0022、柳叶尖 0694、曲沃柳叶烟、小黄金 0203
	3.01~3.50	14	牡单 82-11-2、柳叶尖 0695、圆叶稠码、小黄金 0008、黑苗 2321、晋太 66-4、小黑柳、黄苗竖把 2240、小白筋 2507、大型黄金、窝罗心、小黄金 5209、晋太 29-0、黄苗 2220
	2.51~3.00	17	弯梗子、黄苗竖把 2219、湄潭枇杷黄、湄潭龙坪多叶、龙里小黄烟、王坡二、小黄金 0007、竖叶子 0987、大青筋、小黄金子 0009、黄苗榆 2234、二苯烟、晋太 66-20、柳叶烟 2028、湄潭黑团壳、竖把 2135、晋太 49
	2.01~2.50	32	新铺 2 号等 32 份
	1.51~2.00	25	小竖把 2137 等 25 份
	0.56~1.50	38	38 份
氧化钾	4.01~5.00	5	麻江立烟、黑苗 2308、竖叶子 0982、竖把大柳叶 2133、黔南 1 号
	3.01~4.00	18	黄苗 2218、小白筋 2516、黔南 3 号、黔南 7 号、黑柳子、掩心烟 2441、武鸣 4 号、黔南 9 号、黑苗 2344、黑苗 2322、牡单 79-2、核桃纹 2475、竖叶子 0987、三保险 2440、小黄金 0019、黑苗毛烟、大柳叶 2020、晋太 125-11
	2.01~3.00	83	烤烟 83 份
	<2.00	37	烤烟 37 份

2.2.3 白肋烟种质资源化学成分差异 18 份白肋烟种质资源总糖和还原糖含量较低，分别为 0.53%~2.10%和 0.30%~1.79%；总氮含量较高（3.47%~5.21%）；氧化钾含量较高（3.59%~5.32%）；总植物碱含量差异较大（0.68%~4.64%）。其中，Burley37 的总植物碱含量为 4.64%，Burley49、Burley11B、Burley21 (V246-Rhodesia)、GR18、GR10 等种质的烟碱含量均在 3.01%~4.00%

之间，Burley1、GR14、Ex.12、GR10A 等种质总植物碱含量较低（0.68%~1.55%），其余种质烟碱含量在 2.01%~3.00%之间；氧化钾含量 Burley64、GR10A、GR14 等种质的氧化钾含量>5.00%，Burley10A、Burley2、GR18、Blue Star100、GR36、Burley1、Burley11B、GR17B、Burley37、GR10、Ex.12、GR17 等种质在 4.01%~5.00%之间，其余种质在 3.59%~4.00%之间（表 5）。

表 5 白肋烟种质的主要化学成分含量范围
Tab. 5 Range of major chemical components content of burley tobacco germplasm resources

成分 Component	范围 Range/%	份数 Number	种质资源 Germplasm resource
总糖	0.53~2.10	18	18 份
还原糖	0.30~1.79	18	18 份
总氮	5.21	1	Burley37
	4.01~5.00	4	Barnett Special、Blue Star100、Burley21 (V246-Rhodesia)、GR36
	3.51~4.00	12	Burley11B、Ex.12、Burley1、Burley49、GR10、Burley64、GR17B、GR14、GR18、Burley10A、Burley2、GR17
	3.47	1	GR10A
总植物碱	4.64	1	Burley37
	3.51~4.00	2	Burley49、GR18
	3.01~3.50	3	Burley11B、Burley21 (V246-Rhodesia)、GR10
	2.51~3.00	3	Burley64、Barnett Special、GR36
	2.01~2.50	5	Blue Star100、GR17B、Burley2、Burley10A、GR17
	1.01~1.55	3	GR10A、Ex.12、GR14
	0.68	1	Burley1
氧化钾	5.01~5.32	3	Burley64、GR10A、GR14
	4.01~5.00	12	Burley10A、Burley2、GR18、Blue Star100、GR36、Burley1、Burley11B、GR17B、Burley37、GR10、Ex.12、GR17
	3.59~4.00	3	Burley21 (V246-Rhodesia)、Burley49、Barnett Special

2.2.4 雪茄烟种质资源化学成分差异 6 份雪茄烟种质资源总糖和还原糖含量较低，总氮含量适中（2.08%~3.64%），总植物碱和氧化钾含量差异较大，分别为 0.41%~4.37%和 1.58%~6.08%。其中，总植物碱含量以 Greider 最高，Dutch (Ohio) 最低；氧化钾含量以 Havana 503b 最高，Greider 最低（表 6）。

2.3 不同类型的烟草种质资源生物碱差异

2.3.1 生物碱总体差异 不同类型烟草烟碱含量范围含量为烤烟为 0.99~44.12 mg/g、白肋烟 3.74~

表 6 雪茄烟种质的主要化学成分含量范围
Tab. 6 Range of major chemical components content of cigar tobacco germplasm resources

成分 Component	范围 Range/%	份数 Number	种质资源 Germplasm resource
总糖	0.53~5.00	6	雪茄烟 6 份
还原糖	0.30~5.00	6	雪茄烟 6 份
总氮	3.51~3.64	1	Havana 501
	2.51~3.00	3	Greider、Havana 503b、Dutch (Ohio)
	2.08~2.50	2	Long Red、PA 60-19
总植物碱	4.01~4.37	1	Greider
	1.51~2.00	1	PA 60-19
	0.41~1.50	4	Havana 503b、Long Red、Havana 501、Dutch (Ohio)
氧化钾	6.08	1	Havana 503b
	3.01~4.00	2	PA 60-19、Long Red
	2.01~3.00	2	Havana 501、Dutch (Ohio)
	<2.00	1	Greider

37.40 mg/g、雪茄烟 1.01~35.42 mg/g；烟碱平均含量以白肋烟最高，烤烟次之，雪茄烟最低；降烟碱均值以雪茄烟最高，烤烟次之，白肋烟最低；各类烟碱转化率较高的种质为烤烟平板柳叶、雪茄烟 Dutch (Ohio)，白肋烟 Burley1；烟碱转化率均值以雪茄烟最高，烤烟次之，白肋烟最低；各类型烟叶

的烟碱转化率、降烟碱和雪茄烟的烟碱等变异系数均>100%，为强变异性，其余成分为中变异性。各类烟草各化学成分的极值及其对应种质中，Burley37、Ex.12、Greider、Havana 503b、Dutch (Ohio)、自来黄 2243、二性子等种质有 2 项以上的最大值或最小值（表 7）。

表 7 各类烟草种质资源生物碱差异
Tab. 7 Alkaloid differences of various tobacco germplasm resources

类型 Type	生物碱 Alkaloid	最大值 Max	最大值种质 Max germplasm	最小值 Min	最小值种质 Min germplasm	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%
白肋烟	烟碱/(mg·g ⁻¹)	37.40	Burley37	3.74	Burley1	21.40	7.86	36.72
	降烟碱/(mg·g ⁻¹)	4.22	Burley1	0.06	Ex.12	0.52	1.08	205.73
	新烟碱/(mg·g ⁻¹)	0.43	Burley37	0.09	Ex.12	0.21	0.09	41.80
	假木贼碱/(mg·g ⁻¹)	0.09	Burley37	0.02	Ex.12	0.04	0.02	41.20
雪茄烟	烟碱/(mg·g ⁻¹)	35.42	Greider	1.01	Dutch (Ohio)	11.01	12.49	113.44
	降烟碱/(mg·g ⁻¹)	4.23	Dutch (Ohio)	0.05	Havana 503b	0.92	1.65	178.33
	新烟碱/(mg·g ⁻¹)	0.39	Dutch (Ohio)	0.04	Havana 503b	0.13	0.14	106.84
	假木贼碱/(mg·g ⁻¹)	0.06	Greider	0.01	Havana 501	0.02	0.02	88.64
烤烟	烟碱/(mg·g ⁻¹)	44.12	自来黄 2243	0.99	小黄金 0003	16.74	7.80	46.60
	降烟碱/(mg·g ⁻¹)	12.48	平板柳叶	0.03	二性子	0.74	1.67	224.60
	新烟碱/(mg·g ⁻¹)	0.75	小尖梢	0.03	二性子	0.24	0.14	59.79
	假木贼碱/(mg·g ⁻¹)	0.21	大柳叶 2013	0.01	二性子	0.04	0.03	60.71
白肋烟	烟碱转化率/%	52.98	Burley1	0.28	Burley11B	4.00	12.30	307.50
雪茄烟	烟碱转化率/%	80.69	Dutch (Ohio)	0.64	Havana 503b	17.27	31.96	185.1
烤烟	烟碱转化率/%	89.64	平板柳叶	0.37	小白筋 2515	5.87	15.6	265.67

2.3.2 白肋烟种质资源间的生物碱差异 白肋烟种质烟碱含量在 30.01~40.00 mg/g 之间的有 3 份（Burley11B、Burley37、Burley49），20.01~30.00 mg/g 的有 8 份，10.00~20.00 mg/g 的 6 份，<10.00 mg/g 的 1 份（Burley1）；烟碱转化率以 Burley1 最高，为 52.98%，Burley37 为 6.33%，其余种质为 0.28%~1.56%（表 8）。

2.3.3 雪茄烟种质资源间的生物碱差异 雪茄烟种质资源的烟碱含量以 Greider 为最高，Dutch (Ohio)最低，其余种质在 0.99~20.00 mg/g 之间；烟碱占比 Dutch (Ohio)最低为 18.67%，Havana 501 为 79.42%，其余种质在 97.95%~98.54%之间；烟碱转化率以 Dutch (Ohio)最高，为 80.69%，Havana 501 为 19.58%，其余种质≤1.33%，甚至低至 0.64%（表 8）。

2.3.4 烤烟种质资源间的生物碱差异 141 份烤烟种质资源中，烟碱含量以自来黄 2243 最高，小黄金 0003 最低；松边黄苗榆 2202、晋太 207、黑

苗白筋 2338、小尖梢、小黄金 0029、豎把柳叶 2116、黑柳子等种质烟碱含量在 30.01~40.00 mg/g 之间，有 100 份种质的烟碱含量<20.00 mg/g。烟碱转化率在 0.37%~89.64%之间，小白筋 2515 最低，平板柳叶最高；平板柳叶、小黄金 0003、泼拉机、葵花烟 2437、黔南 9 号、黑苗 2319、尖烟洋苗、武鸣 4 号等种质烟碱转化率>50.00%，黑苗 2344、黑苗烟 2343、大豎把 2141 等种质在 20.01%~50.00%之间，烤烟、湄潭铁杆烟、豎把 2135、圆叶稠码、小豎把 2146、小黄金 0091、晋太 75、黑苗 2341、晋太 207、麻江柳叶烟等在 5.01%~20.00%之间（表 8）。

2.3.5 各类烟碱转化率较高的资源 史志宏等^[10]按烟碱转化率将烟叶分为 4 组：非转化株（<5%）、低转化株（5%~20%）、中高转化株（20%~50%）和高转化株（>50%）。按此标准将 165 份资源进行分类，并列出各转化类型的种质资源名单（烤烟 21 份，白肋烟和雪茄烟各 2 份）（表 9）。

表 8 不同类型烟草种质的主要生物碱含量范围
Tab. 8 Different types of tobacco germplasm corresponding to range of major alkaloids

项目 Item	范围 Range	份数 Number	烤烟 Flue-cured tobacco	白肋烟 Burley	雪茄烟 Cigar
总生物碱 (153 份) (mg·g ⁻¹)	44.12	1	自来黄 2243		
	30.01~40.00	12	松边黄苗榆 2202、晋太 207、黑苗白筋 2338、小尖梢、小黄金 0029、黑柳子、竖把柳叶 2116、胎里富 1060	Burley37、 Burley49、 Burley11B	Greider
	20.01~30.00	45	胎里富 1060 等 37 份	GR18 等 8 份	
	10.01~20.00	81	定远平板等 74 份	Burley2 等 6 份	PA 60-19
	4.31~10.00	26	小黄金 0003 等 21 份	Burley1	Dutch (Ohio)、Havana 501、 Havana 503b、Long Red
烟碱/(mg·g ⁻¹)	>40.00	1	自来黄 2243		
	30.01~40.00	11	松边黄苗榆 2202、晋太 207、黑苗白筋 2338、小尖梢、小黄金 0029、竖把柳叶 2116、黑柳子	Burley37、 Burley49、 Burley11B	Greider
	20.01~30.00	41	胎里富 1060 等 33 份	GR18 等 8 份	
	10.01~20.00	77	晋太 29-0 等 70 份	Burley2 等 6 份	PA 60-19
	0.99~10.00	35	晋太 12-3 等 30 份	Burley1	Dutch (Ohio)、Havana 501、 Long Red、Havana 503b
降烟碱 (mg·g ⁻¹)	>10.00	1	平板柳叶		
	5.01~10.00	5	黑苗 2319、葵花烟 2437、黔南 9 号、小黄金 0003、尖烟洋苗		
	1.01~5.00	17	大竖把 2141、黑苗 2341、黑苗 2344、黑苗烟 2343、晋太 207、烤烟、湄潭铁杆烟、泼拉机、竖把 2135、武鸣 4 号、小黄金 0029、小尖梢、小竖把 2146、圆叶稠码	Burley1、 Burley37	Dutch (Ohio)
	0.01~1.00	142	小黄金 0091 等 121 份	GR36 等 16 份	Havana 501、Greider、Long Red、PA 60-19、Havana 503b
烟碱占比 (164 份) %	>95.00	135	二性子等 114 份	Barnett Special 等 16 份	Havana 503b、PA 60-19、 Greider、Long Red
	90.01~95.00	11	偏筋黄 1036、二苯烟、晋太 6 号、晋太 3 号、小尖梢、晋太 207、麻江柳叶烟、黑苗 2341、小黄金 0091、晋太 75	Burley37	
	80.01~90.00	4	小竖把 2146、圆叶稠码、竖把 2135、湄潭铁杆烟		
	70.01~80.00	4	大竖把 2141、烤烟、黑苗烟 2343		Havana 501
	30.01~70.00	5	黑苗 2344、武鸣 4 号、尖烟洋苗、黑苗 2319	Burley1	
	9.98~20.0	6	黔南 9 号、葵花烟 2437、泼拉机、小黄金 0003、平板柳叶		Dutch(Ohio)

2.4 不同来源烟草种质资源化学成分差异

为提高可比性和资料的可靠性，分别对不同来源的烤烟和雪茄烟类型资源进行比较分析，白肋烟为同一来源（美国），不作比较。

2.4.1 不同来源烤烟种质资源化学成分差异 由图 1 可以看出，不同来源烤烟资源的化学成分和烟碱转化率差异较大。各成分平均值中总糖和还原糖含量以来源于中国贵州的资源最高，中国黑龙江的资源最低（图 1A）；总植物碱以来自中国安徽的资源最

高，氧化钾含量以中国贵州的资源最高（图 1B）。烟碱、降烟碱、烟碱转化率等均值以中国安徽的资源最高，辽宁的最低（图 1B、图 1C）；不同来源种质资源的总糖、还原糖、烟碱转化率、烟碱、降烟碱等多个成分最大值差异较大，最小值以总糖、还原糖、总植物碱等差异较大，其余成分差异较小（图 1D、图 1E）。变异系数以降烟碱差异最大（图 1F）。2.4.2 不同来源雪茄烟种质资源化学成分差异 雪茄烟种质资源来自美国和古巴，统计结果表明，

表 9 烟碱转化率较高的种质及其化学成分
Tab. 9 Germplasm with high nicotine conversion rate and chemical components

转化 类型 Convert type	类型 Type	种质名称 Germplasm	总糖 Total sugar /%	还原糖 Reduc- ing sugar/%	总氮 Total N/%	总植物碱 Total alka- loid/%	氧化钾 K ₂ O/%	淀粉 Starch /%	烟碱 Nicotine /(mg·g ⁻¹)	降烟碱 Nornico- tine /(mg·g ⁻¹)	新烟碱 Ana- tabine /(mg·g ⁻¹)	假木贼碱 Anabasine /(mg·g ⁻¹)	烟碱转化率 Nicotine conversion rate/%
高转 化型	烤烟	平板柳叶	6.89	4.50	3.37	1.07	2.22	0.41	1.44	12.48	0.47	0.06	89.64
		小黄金 0003	14.34	9.52	2.80	0.56	2.43	0.64	0.99	5.76	0.27	0.04	85.33
		泼拉机	10.19	8.50	2.83	0.59	2.52	0.64	1.32	4.69	0.14	0.02	77.97
		葵花烟 2437	10.02	6.88	3.15	0.72	2.43	0.50	2.26	7.03	0.36	0.04	75.70
		黔南 9 号	7.60	5.03	2.84	0.80	3.41	0.41	2.77	6.55	0.25	0.03	70.26
		黑苗 2319	7.91	6.25	2.88	1.43	2.13	0.37	4.98	8.05	0.43	0.06	61.78
		尖烟洋苗	18.23	14.21	2.58	0.96	1.49	0.77	3.95	5.48	0.31	0.05	58.10
		武鸣 4 号	8.39	6.04	3.10	0.88	3.41	0.48	3.60	4.59	0.24	0.03	56.02
	雪茄烟	Dutch (Ohio)	0.59	0.52	2.57	0.41	2.61	0.29	1.01	4.23	0.16	0.02	80.69
	白肋烟	Burley1	1.45	1.26	3.94	0.68	4.44	0.26	3.74	4.22	0.09	0.02	52.98
中高转 化型	烤烟	黑苗 2344	9.45	6.54	2.60	1.12	3.33	0.49	7.02	3.19	0.38	0.06	31.25
		黑苗烟 2343	18.29	12.11	2.36	0.99	1.97	0.61	5.08	1.48	0.08	0.02	22.58
		大竖把 2141	15.82	11.52	3.25	2.49	2.27	1.14	18.34	4.63	0.44	0.07	20.14
低转 化型	雪茄烟	Havana 501	2.10	1.91	3.64	0.47	2.61	0.45	3.43	0.83	0.04	0.01	19.58
	烤烟	烤烟	14.17	9.38	2.73	1.31	2.22	0.32	9.95	2.40	0.16	0.04	19.44
		湄潭铁杆烟	12.00	8.73	2.82	1.39	2.52	0.76	9.54	1.51	0.18	0.03	13.63
		竖把 2135	14.16	9.62	3.16	2.61	2.09	0.54	18.85	2.26	0.43	0.06	10.72
		圆叶稠码	13.80	9.85	3.17	3.39	2.35	0.90	24.52	2.71	0.63	0.09	9.97
		小竖把 2146	10.95	8.78	3.06	2.25	2.48	1.08	19.06	1.98	0.31	0.06	9.43
		小黄金 0091	7.10	5.95	2.87	1.53	2.44	0.37	11.99	0.98	0.16	0.02	7.54
		晋太 75	10.58	7.86	2.71	1.39	2.53	0.38	9.12	0.74	0.12	0.02	7.53
		黑苗 2341	18.10	13.31	2.38	2.46	1.67	1.83	17.80	1.09	0.38	0.06	5.79
		麻江柳叶烟	20.18	15.22	2.28	1.41	2.30	1.61	8.55	0.51	0.17	0.03	5.59
		晋太 207	7.57	6.53	2.96	4.18	2.18	0.73	35.30	2.07	0.35	0.08	5.55
	白肋烟	Burley37	0.59	0.37	5.21	4.64	4.27	0.19	37.40	2.53	0.43	0.09	6.33

各化学成分平均值中以总氮、氧化钾含量以古巴资源较高（图 2A）；总生物碱和烟碱转化率以美国资源较高（图 2B、图 2C）。各化学成分的最大值和最小值差异不明显（图 2D）；而烟碱、降烟碱含量和烟碱转化率的最大值美国资源明显高于古巴（图 2E）；变异系数在 1.37%~285.07%之间，其中，达到强变异性（CV≥100.00%）的有：美国的总糖和还原糖；中国山西和山东以及古巴和美国的降烟碱；中国安徽、贵州、河南和山东以及古巴和美国的烟碱转化率等。CV 在 10.0%以内的有中国福建、贵州、黑龙江、辽宁和山东的总氮；黑龙江的新烟碱和假木贼碱和辽宁的氧化钾等；其余来源及化学成分的变异系数均在 10.00%~99.99%之间，为中变异性（图 2F）。

2.5 聚类分析

2.5.1 各类烟草种质资源的聚类分析 将 165 份烟草种质资源的总糖、还原糖、总氮、总植物碱、水溶性氯、氧化钾、淀粉、烟碱、降烟碱、新烟碱、假木贼碱含量和烟碱转化率等 12 项指标，采用标准化转化、欧氏距离、离差平方和法进行系统聚类，在截距为 0.9 左右处将 165 份资源分成 4 类（图 3），每一类均可以再分为 2 个亚类，各类种质数量及编号见表 10，其差异性比较和各成分的变异系数见图 4，各类及其主要特征特性为：

第 1 类：包含 78 份种质，可分成 2 个亚类。其中，1-1 亚类 63 份均为烤烟种质；1-2 亚类中烤烟、白肋烟和雪茄烟种质分别为 8 份、3 份和 4 份。其主要特征是总糖和还原糖含量较高，烟碱

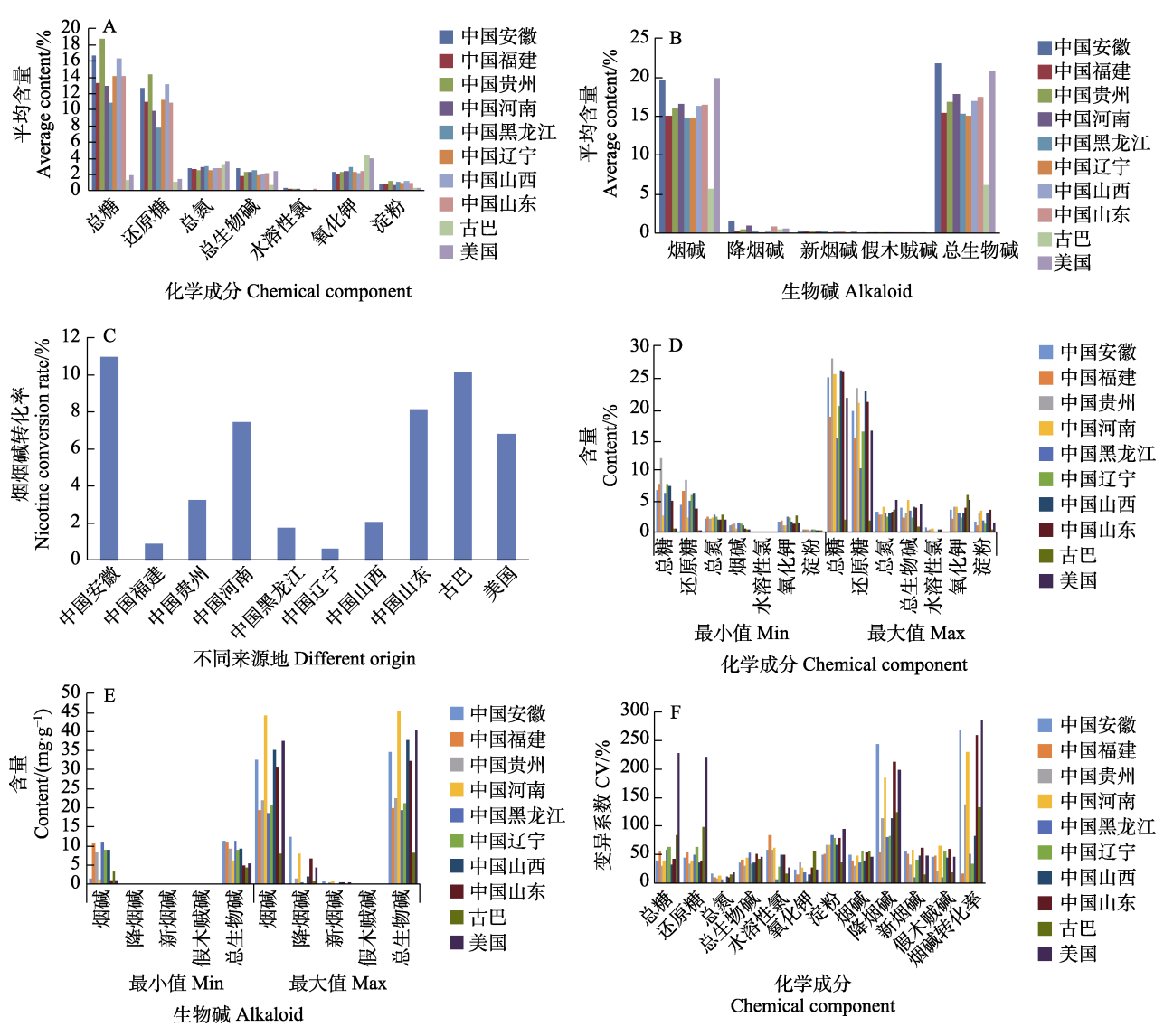


图 1 不同来源地烤烟种质资源化学成分差异
Fig. 1 Differences in chemical composition of flue-cured tobacco germplasm from different origin

转化率较低。

第 2 类：包含 28 份种质，可分成 2 个亚类。其中,2-1 亚类中有 12 份烤烟和 1 份雪茄烟种质；2-2 亚类中白肋烟有 14 份和烤烟 1 份（竖叶子 0982）。其主要特征是总糖和还原糖含量低,总氮、总植物碱和氧化钾含量高。

第 3 类：包含 10 份种质，3-1 亚类有烤烟种质 4 份；3-2 类中分别有烤烟 4 份、白肋烟和雪茄烟种质各 1 份。其主要特征是烟碱含量低，总植物碱含量低，降烟碱含量高，烟碱转化率高。

第 4 类：包含烤烟种质 49 份，均为烤烟种质。其主要特征是总糖、还原糖和淀粉含量高，总氮含量低。

2.5.2 烤烟种质资源聚类分析 按以上同样的聚类方法对 141 份烤烟资源进行聚类分析，在 0.9 左右处将 141 份资源分成 4 类，每一类均可分成 2 个亚类（图 5），各类所包含的种质资源数量及编号见表 11，各类主要特征特性为：

第 1 类氧化钾含量高；第 2 类总糖、还原糖、淀粉、总植物碱、烟碱含量低，降烟碱含量高，烟碱转化率高；总植物碱、烟碱含量高；第 3 类总植物碱、烟碱含量最低，降烟碱含量和烟碱转化率最高；第 4 类总糖、还原糖、淀粉、总植物碱、烟碱含量较高：第 5 类的总糖、还原糖、淀粉含量高，总氮含量低。第 1、4 类的降烟碱含量和烟碱转化率的变异系数较高（ $\geq 100\%$ ），为高变异性，各类的总氮、第 5 类的总糖含量等为弱变异性，其余的为中变异性（图 6）。

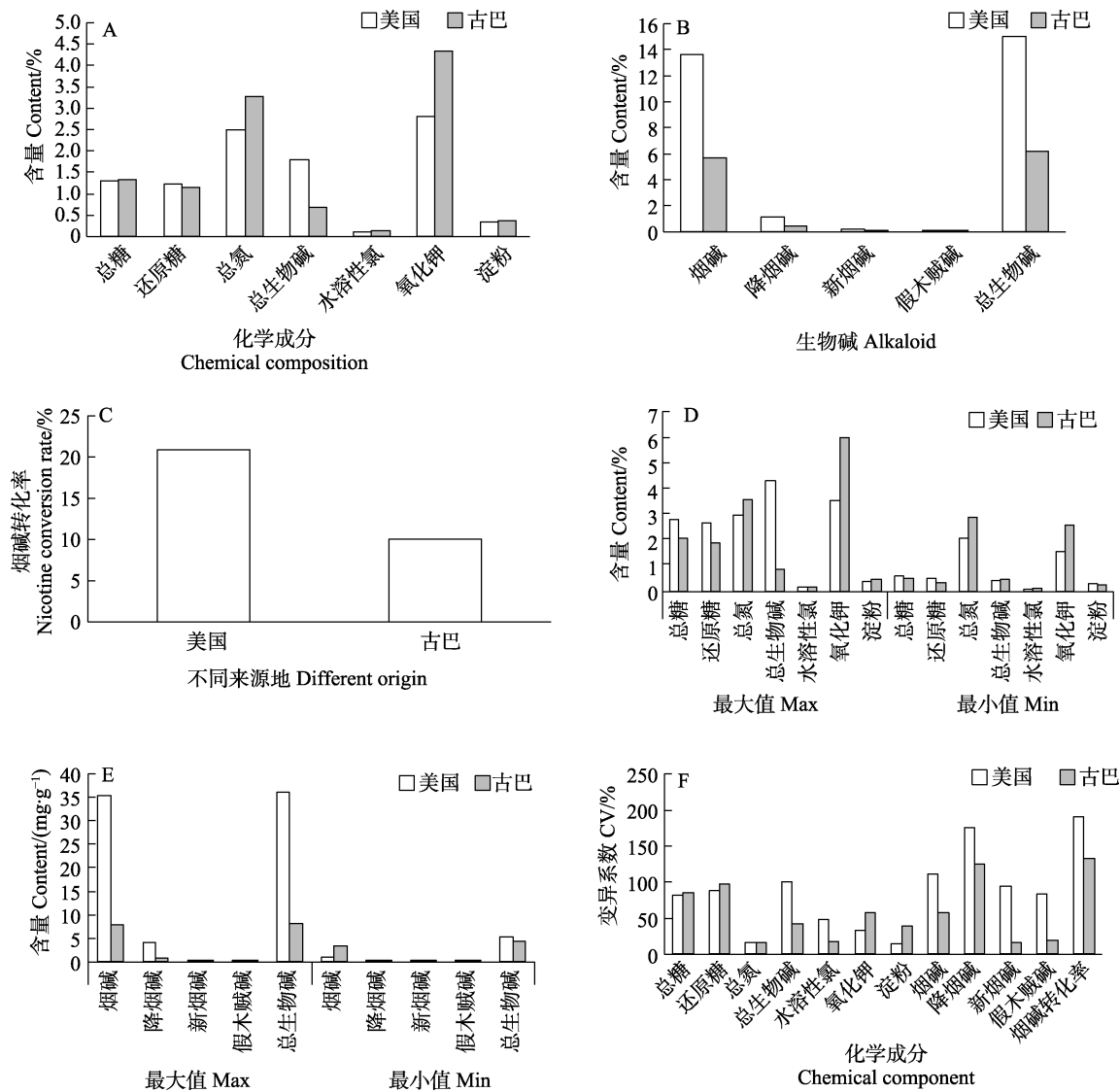


图 2 不同来源雪茄烟种质资源化学成分差异
Fig. 2 Differences in chemical composition of cigar germplasm from different origin

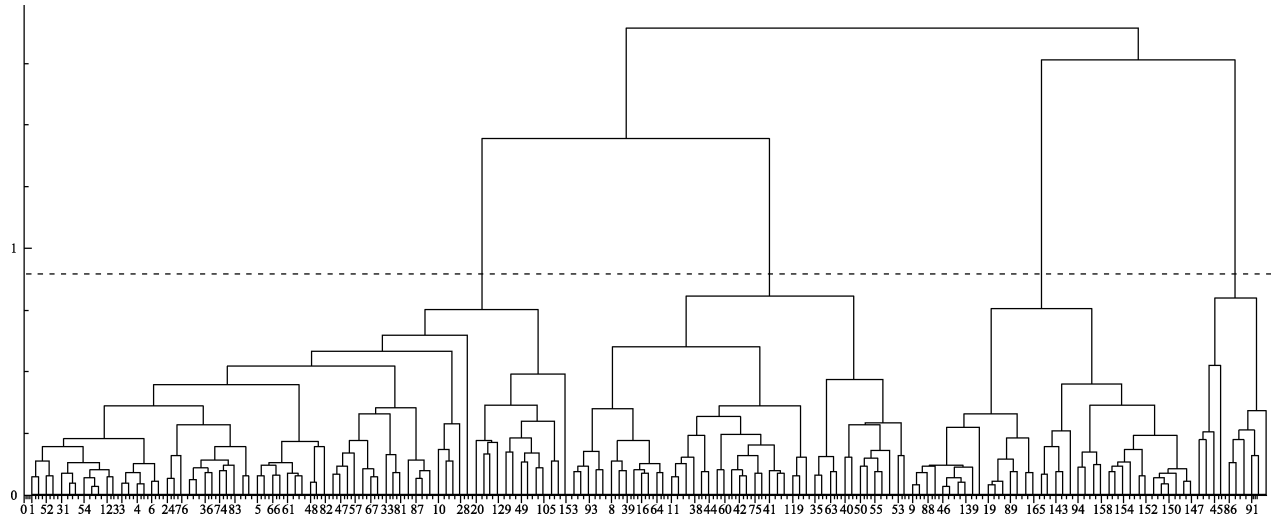


图 3 165 份烟草资源的生物碱聚类分析
Fig. 3 Diagram of 165 tobacco resources via alkaloid cluster analysis

表 10 各类所包含的种质资源类型及数量
Tab. 10 Type and quantity of germplasm resources included in various categories

类别	亚类	种质数	种质编号[白肋烟 (B)、雪茄烟 (X), 烤烟 (未标)]
Class	Subclass	Germplasm numbers	Number of germplasm [burley tobacco (B), cigar (X), flue-cured tobacco (unmarked)]
1 类	1-1	63	1、130、52、59、31、58、106、54、97、115、123、137、3、51、4、30、6、25、24、136、76、26、124、36、111、74、103、83、92、107、5、132、66、112、61、68、113、48、141、82、10、96、133、28、9、95、88、84、46、131、125、139、62、15、67、101、33、70、81、37、87、90、114
	1-2	15	19、32、120、89、98、164 (X)、165 (X)、94、99、160 (X)、21、156 (B)、143 (B)、157 (B)、161 (X)
2 类	2-1	13	2、20、23、138、129、29、163 (X)、49、122、100、105、104、140
	2-2	15	102、144 (B)、158 (B)、145 (B)、147 (B)、149 (B)、150 (B)、155 (B)、142 (B)、159 (B)、154 (B)、151 (B)、146 (B)、152 (B)、153 (B)
3 类	3-1	4	22、71、45、85
	3-2	6	86、117、91、110、162 (X)、148 (B)
4 类	4-1	32	7、73、93、17、134、8、18、39、13、16、43、64、79、11、80、109、38、27、44、14、34、60、34、42、127、75、108、41、72、116、119、126、121
	4-2	17	12、47、77、57、35、69、63、65、40、78、50、56、55、118、128、53、135

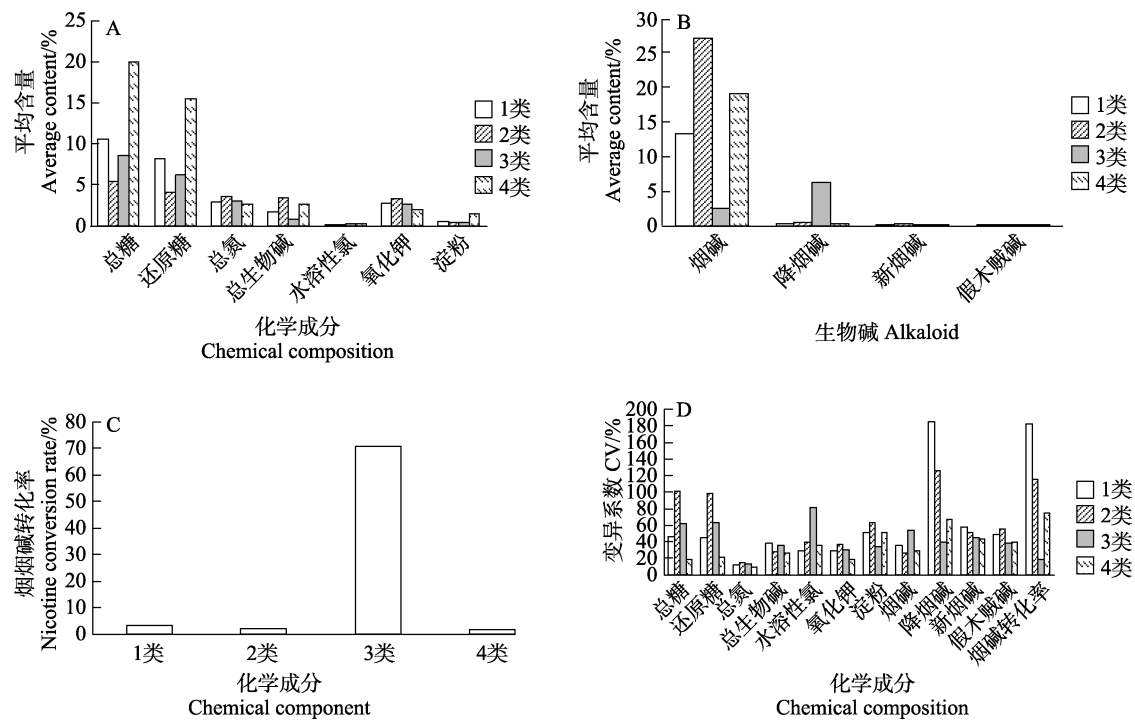


图 4 各聚类烟草种质资源差异
Fig. 4 Comparison of germplasm differences among tobacco clusters

3 讨论

3.1 烟碱的含量

烟碱是烟叶中主要的生物碱，其含量在生物碱中占 95%以上，烟碱含量随烟草类型、品种、产地、施肥等的不同而有差异。本研究结果表明，不同类型的烟草及同一类型不同品种间的烟碱含量差异较大，其范围为烤烟的烟碱含量为 0.99~44.12 mg/g、白肋烟为 3.74~37.40 mg/g、雪茄烟

为 1.01~35.42 mg/g。而有研究显示香料烟为 2.33~5.19 mg/g、白肋烟为 17.36~25.50 mg/g 和烤烟为 23.66~24.400 mg/g^[20]，本研究多样性更丰富。孙鑫等^[21]从 219 份烤烟资源中筛选出烟碱含量高的品种福泉朝天立、8022、开阳团鱼叶、毕金一号和长葛柳叶等资源，许美玲等^[22]从 52 份烤烟资源中筛选出烟碱含量>5.00%的小黄金 0009 和小黄金 5209。本研究筛选出烟碱含量高 (>40.00 mg/g)

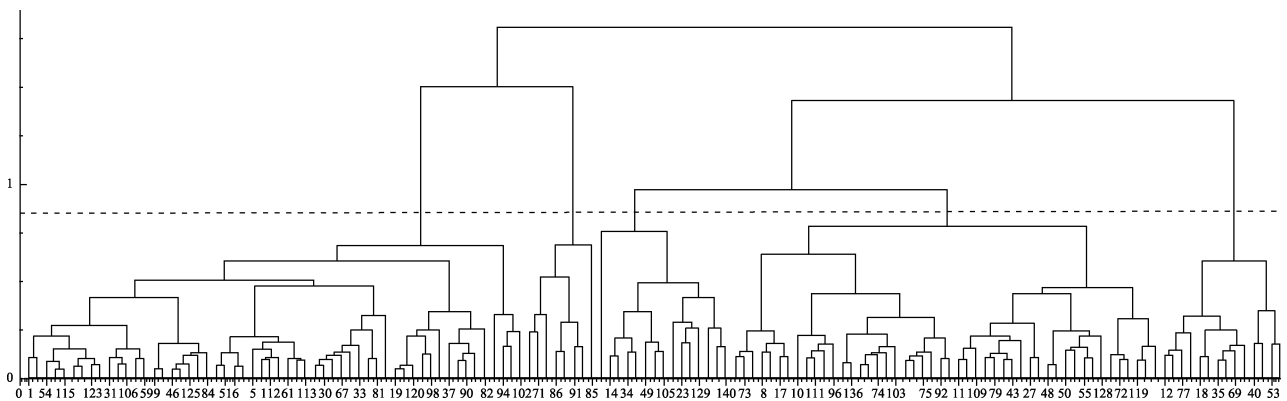


图 5 烤烟资源系统聚类分析

Fig. 5 Diagram of flue-cured tobacco resource system via cluster analysis

表 11 各类所包含的种质资源类型及数量

Tab. 11 Type and quantity of germplasm resources included in various categories

类别 Class	亚类 Subclass	种质数 Germplasm numbers	种质编号 Numbers of germplasm
1	1-1	52	1、130、54、97、115、88、139、123、137、31、58、106、52、59、9、95、46、131、125、62、84、3、51、6、25、5、66、112、132、61、68、113、4、30、101、67、15、33、70、81、28、19、32、120、89、98、76、37、87、90、114、82
	1-2	4	21、94、99、102
2	2-1	34	22、71、45、86、117、91、110
	2-2	4	85
3	3-1	8	2
	3-2		14、60、34、122、49、100、105、20、23、138、129、29、104、140
4	4-1	25	7、73、93、8、64、17、134、10、36、111、133、96、24、136、26、124、74、83、103、42、127、75、108、92、107
	4-2	23	11、80、109、13、79、16、43、38、27、44、41、50、56、55、118、128、41、72、116、119、126、121、48
5	5-1	12	12、47、77、57、18、39、35、65、69、63
	5-2	12	40、78、53、135

的种质自来黄 2243(烤烟)和 Burley37(白肋烟)等;烟碱含量在 30.00~40.00 mg/g 之间的烤烟种质 8 份(松边黄苗榆 2202、晋太 207、黑苗白筋 2338、小尖梢、小黄金 0029、黑柳子、竖把柳叶 2116、胎里富 1060 等、白肋烟种质 2 份(Burley49、Burley11B)和雪茄烟种质 Greider。这些种质可作为高烟碱资源进行进一步研究和利用。

3.2 烟碱转化率与转化类型

按烟碱转化率的高低可将烟草分为高转型、中高等转化型、低转化型和非转化型种质^[11]。本项的 165 份种质中,高转型种质有烤烟 8 份(平板柳叶、小黄金 0003、泼拉机、葵花烟 2437、黔南 9 号、黑苗 2319、尖烟洋苗、武鸣 4 号),占 5.67%;白肋烟 Burley1(占 5.55%)和雪茄烟 Dutch (Ohio)(16.67%)等;中高等转化型种质烤烟 3

份(黑苗 2344、黑苗烟 2343、大竖把 2141)。低转化型种质雪茄烟 Havana 501 和烤烟种质偏筋黄 1036、晋太 3 号、晋太 6 号、黄苗 2218、小黄金 0029、小尖梢等。田阳阳等^[23]研究的 TS01 株系的烟碱转化率在 93%以上,证明烤烟的烟碱转化率也较高;雪茄烟品种均存在烟碱向降烟碱的转化问题,烟碱转化率范围为 5.03%~53.12%^[24],国内外不同产区雪茄烟叶和茄芯、茄衣等不同用途雪茄烟叶生物碱含量样本间差异性均较大,特别是烟碱、降烟碱含量和烟碱转化率变异性极大,表明雪茄烟叶烟碱向降烟碱转化问题突出^[25],本研究结果与以上文献基本相符。另外,SHI 等^[5]和 BUSH 等^[26]的研究认为,美国白肋烟品种在群体中一般含有 15%~20%的转化株,约 1/2 转化株的烟碱转化率>20.00%。本研究认为,由于烟草

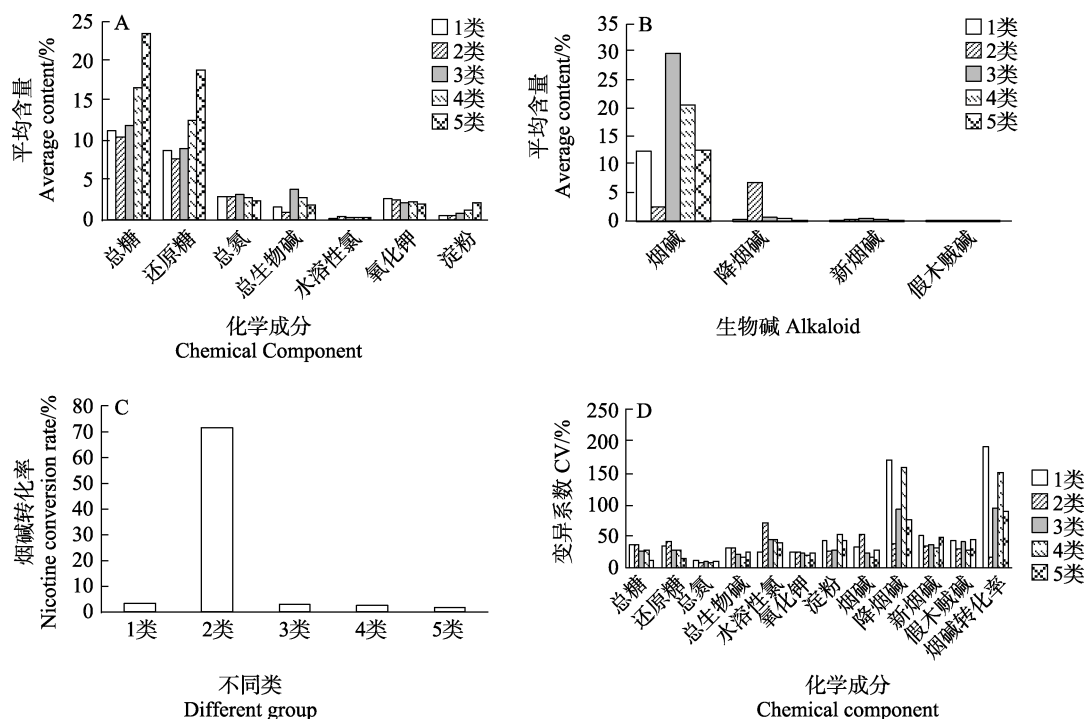


图 6 各聚类烤烟种质资源差异性比较

Fig. 6 Difference comparison of flue-cured tobacco germplasm resources

类型不同、品种不同，烟碱含量及烟碱转化率差异较大。如平板柳叶、小黄金 0003 等烟碱转化率在 85.00% 以上，与硃砂烟（浅红、中等红色、深红 3 种类型硃砂烟叶的烟碱转化率分别为 86.95%、90.86%、93.85%，远高于云烟 87 的 5.12%）烟碱转化率相似^[27]。烟碱转化率较高的资源可作为硃砂烟叶等特殊用途进行研究和利用。

3.3 不同类型烟草的化学成分差异

3 种类型的烟草种质资源总糖和还原糖含量以烤烟最高，雪茄烟和白肋烟较低；总氮、总植物碱和氧化钾含量以白肋烟种质为高，总氮含量以烤烟和雪茄烟较低，总植物碱含量以雪茄烟最低，氧化钾含量以烤烟最低，淀粉含量以烤烟最高，雪茄烟和白肋烟较低。有研究表明，不同基因型间烟叶含钾量有较大差异，而选择吸收和积累钾能力强的品种是最有效的措施^[12]，黄莺等^[28]提出在常规施钾量水平下烤烟富钾、高钾等基因型的划分标准，用该标准对本研究的 141 份烤烟种质氧化钾含量进行划分的结果表明：富钾型（>2.50%）种质 36 份，占 25.53%，高钾型（1.80%~2.50%）种质 87 份，占 61.70%，低钾型（<1.80%）种质 18 份，占 12.77%。其中，麻江立烟、黑苗 2308、竖叶子 0982、竖把大柳叶 2133、黔南 1 号等 5 份的氧化钾含量>4.00%；黄

苗 2218、小白筋 2516、黔南 3 号、黔南 7 号、黑柳子、掩心烟 2441、武鸣 4 号、黔南 9 号、黑苗 2344、黑苗 2322、牡单 79-2、核桃纹 2475、竖叶子 0987、三保险 2440、小黄金 0019、黑苗毛烟、大柳叶 2020、晋太 125-11 等 18 份的氧化钾含量在 3.00%~4.00% 之间。培育富钾烟草品种可提高我国烟叶含钾量，从而达到烟叶降焦的目的，并能提高烟株抗逆、抗病性，改善烟叶品质^[29]。

综上所述，不同烤烟种质资源间的化学成分和生物碱的含量差异较大。经过分析比较，筛选出了一批化学成分适宜，氧化钾含量高，降烟碱含量或烟碱转化率较低的种质，也区分出了高转化型、中高转化型和低转化型的烤烟种质。相关分析结果提示了各化学成分指标间的相关关系，聚类分析将特性不同的种质归为不同的类型。

参考文献

- [1] 廉芸芸, 王允白, 邱军, 张忠峰, 曹建敏. 不同产区烤烟中主要生物碱含量和组成比例分析[J]. 中国烟草科学, 2008, 29(4): 6-9.
LIAN Y Y, WANG Y B, QIU J, ZHANG Z F, CAO J M. Analysis on major alkaloids contents and constituent proportions of flue-cured tobacco from different tobacco production regions[J]. Chinese Tobacco Science, 2008, 29(4): 6-9. (in

- Chinese)
- [2] 徐宜民, 王树声, 赖禄祥, 任明波. 烟草生物碱的研究现状[J]. 中国烟草科学, 2003, 22(2): 12-16.
XU Y M, WANG S S, LAI L X, REN M B. Review on the studies of tobacco alkaloids[J]. Chinese Tobacco Science, 2003, 22(2): 12-16. (in Chinese)
 - [3] 程森, 杜咏梅, 张骏, 沈钢. 烤烟不同生物碱含量特征及其与烟叶内在质量关系研究初报[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(6): 1-4.
CHENG S, DU Y M, ZHANG J, SHEN G. Alkaloid Content of flue-cured tobacco and its correlations with sensory quality[J]. Chinese Tobacco Science, 2009, 30(6): 1-4. (in Chinese)
 - [4] BUSH L P, FANNIN F F, CHELVARAJAN R L, BURTON H R. Biosynthesis and metabolism of nicotine and related alkaloids[C]//CORROD J W, WAHREN J. Nicotine and related alkaloids. London: Chapman & Hall, 1993: 101-128.
 - [5] SHI H Z, FANNIN F F, BURTON H R, BUSH L P. Factors affecting nicotine to normicotine conversion in burley tobacco[C]. Nashville, USA: 54th Tobacco Science Research Conference, 2000.
 - [6] HECHT S S, HOFFMANN D. Tobacco-specific nitrosamines, an important group of carcinogens in tobacco and tobacco smoke[J]. Carcinogenesis, 1988, 9(6): 875-884.
 - [7] SHI H Z, KALENGAMALIRO N E, HEMPFLING W P. Difference in nicotine conversion between lamina and midrib in burley tobacco and its contribution to TSNA formation[C]. Lexington, USA: 56 Tobacco Science Research Conference, 2002.
 - [8] 史宏志, 李进平, 李宗平, BUSH L P, 王昌军. 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 H Z, LI J P, LI Z P, BUSH L P, WANG C J. Study on Decreasing nicotine conversion in chinese burley hybrid through genetic improvement[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(1): 153-160. (in Chinese)
 - [9] 赵永利, 史宏志, 杨兴有, 谢子发, 刘国顺. 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, 43(2): 135-138.
ZHAO Y L, SHI H Z, YANG X Y, XIE Z F, LIU G S. Relationship of nicotine conversion rate within dividual alkaloid contents and Anat/Nnic in burley tobacco[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2009, 43(2): 135-138. (in Chinese)
 - [10] 史宏志, 李进平, BUSH L P, 张永红, 于青. 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 H Z, LI J P, BUSH L P, ZHANG Y H, YU Q. Relationship of percent nicotine conversion with sensory evaluation scores and TSNA contents in cut tobacco and cigarette smoke[J]. Acta Tatararia Sinica, 2005, 11(2): 9-14. (in Chinese)
 - [11] 赵晓丹, 鲁喜梅, 史宏志, 曾代龙, 杨兴有. 不同烟草类型烟叶中性致香成分和生物碱含量差异[J]. 中国烟草科学, 2012, 33(2): 7-11.
ZHAO X D, LU X M, SHI H Z, ZENG D L, YANG X Y. Comparison of composition and contents of neutral aroma components and alkaloids in different types of tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2012, 33(2): 7-11. (in Chinese)
 - [12] 李宗平. 不同杂交方式对白肋烟烟碱转化率的影响[J]. 中国种业, 2017, 17(5): 37-40.
LI Z P. Effects of different hybridization methods on the conversion of burley nicotine[J]. China Seed Industry, 2017, 17(5): 37-40. (in Chinese)
 - [13] 梁盟, 王程栋, 宋文静, 孟霖, 张保全. 武陵山区气象因子与烤烟生物碱含量及组分比例的典型相关分析[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(12): 130-134.
LIANG M, WANG C D, SONG W J, MENG L, ZHANG B Q. Typical correlation analysis between meteorological factors and the content and components of flue-cured tobacco alkaloids in Wuling Mountain Area[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2015, 43(12): 130-134. (in Chinese)
 - [14] 邓小华, 周清明, 周冀衡, 黎娟. 烟叶质量评价指标间的典型相关分析[J]. 中国烟草学报, 2011, 17(3): 17-22.
DENG X H, ZHOU Q M, ZHOU J H, LI J. Canonical correlation analysis between quality evaluating indices of tobacco leaf[J]. Acta Tatararia Sinica, 2011, 17(3): 17-22. (in Chinese)
 - [15] 赵丹. 烟草(*Nicotiana tabacum* L.)降烟碱代谢调控的分子机制研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2016.
ZHAO D. Study on molecular regulation methanism of the normicotine biosynthesis in *Nicotiana tabacum* L. [D]. Guiyang: Guizhou University, 2016. (in Chinese)
 - [16] 史宏志, 张建勋. 烟草生物碱[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
SHI H Z, ZHANG J X. Tobacco alkaloids[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2004. (in Chinese)
 - [17] 徐秀红, 刘金亮, 李栋成, 刘仁祥. 不同类型烟草种质的烟碱含量变化与相关基因表达水平[J]. 浙江农业学报, 2020, 32(9): 1555-1563.
XU X H, LIU J L, LI D C, LIU R X. Analysis of nicotine content and related gene expression in different types of tobacco germplasm[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2020, 32(9): 1555-1563. (in Chinese)
 - [18] 王志德, 张兴伟, 刘艳华. 中国烟草核心种质图谱[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2014.
WANG Z D, ZHANG X W, LIU Y H. Core germplasm map of Chinese tobacco[M]. Beijing: Scientific and Technical

- Documentation Press, 2014. (in Chinese)
- [19] 许美玲, 李永平. 烟草种质资源图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- XU M L, LI Y P. Atlas of tobacco germplasm resources[M]. Beijing: Science Press, 2009. (in Chinese)
- [20] 师君丽, 逢涛, 李勇, 宋宗邦, 高玉龙. 气相色谱-三重四极杆串联质谱法同时测定烟草中 8 种生物碱[J]. 分析测试学报, 2014, 33(3): 334-338.
- SHI J L, PANG T, LI Y, SONG Z B, GAO Y L. Simultaneous determination of 8 alkaloids in tobacco by gas chromatography-triple quadrupole mass spectrometry[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2014, 33(3): 334-338. (in Chinese)
- [21] 孙鑫, 文柳璿, 尹鹏嘉, 罗成刚, 樊文强. 烤烟烟碱含量的全基因组关联分析[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(1): 102-113.
- SUN X, WEN L Y, YIN P J, LUO C G, FAN W Q. Genome-wide association study of nicotine content in flue-cured tobacco[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, 23(1): 102-113. (in Chinese)
- [22] 许美玲, 焦芳婵. 烤烟种质资源常规化学成分、多元酸和高级脂肪酸分析[J]. 中国烟草学报, 2019, 25(4): 20-28.
- XU M L, JIAO F C. Analysis of routine analytes, polyprotic and higher fatty acids in 52 tobacco germplasm resources[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2019, 25(4): 20-28. (in Chinese)
- [23] 田阳阳, 轩贝贝, 徐益群, 杨继周, 刘魁. 一个高烟碱转化烤烟株系的鉴定分析[J]. 湖南农业科学, 2021, 29(5): 13-17.
- TIAN Y Y, XUAN B B, XU Y Q, YANG J Z, LIU K. Identification and analysis of a high nicotine conversion flue-cured tobacco line[J]. Hunan Agricultural Science, 2021, 29(5): 13-17. (in Chinese)
- [24] 周迪, 孙雨琦, 史宏志, 杨兴有. 16 个雪茄烟品种的烟碱转化率及发酵后 TSNAs 含量[J]. 中国烟草学报, 2020, 26(1): 1-9.
- ZHOU D, SUN Y Q, SHI H Z, YANG X Y. Nicotine conversion rate of 16 cigar varieties and its relationship with TSNAs content in fermented tobacco leaves[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2020, 26(1): 1-9. (in Chinese)
- [25] 孙雨琦, 赵园园, 周迪, 钟秋, 王俊. 国内外不同产区 and 类型雪茄烟烟草特有亚硝胺及生物碱含量分析[J]. 中国烟草学报, 2020, 26(5): 30-38.
- SUN Y Q, ZHAO Y Y, ZHOU D, ZHONG Q, WANG J. Analysis on TSNAs and alkaloid contents in different types of cigar tobacco from different regions at home and abroad[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2020, 26(5): 30-38. (in Chinese)
- [26] BUSH L P, ZHAN Y, YANG H, SHI H Z, FANNIN F F, BURTON H R. Time of nornicotine formation in burley tobacco[C]. Suzhou, China: CORESTA, 1999.
- [27] 宋中邦, 隋学艺, 张谊寒, 王亚辉, 赵高坤, 李勇, 王丙武, 刘加红, 解燕, 杨世波, 顾华国. 硃砂烟 CYP82E4 基因表达模式及烟碱转化率分析[J]. 中国烟草学报, 2021, 27(6): 75-80.
- SONG Z B, SUI X Y, ZHANG Y H, WANG Y H, ZHAO G K, LI Y, WANG B W, LIU J H, XIE Y, YANG S B, GU H G. The CYP82E4 expression pattern and nicotine conversion rate in cherry-red tobacco[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2021, 27(6): 75-80. (in Chinese)
- [28] 黄莺, 周梅, 黄河, 徐伟. 基因型对烟草钾素营养的响应能力及筛选研究[J]. 中国烟草科学, 2004, 25(2): 30-34.
- HUANG Y, ZHOU M, HUANG H, XU W. Study of genotype on response ability of tobacco potassium nutrition and selection[J]. China Tobacco Science, 2004, 25(2): 30-34. (in Chinese)
- [29] 石屹, 牛佩兰, 窦玉清, 王树声, 梁洪波, 申国明. 培育富钾烟草品种降低烟叶焦油产生量[J]. 中国烟草科学, 1997, 18(4): 15-17.
- SHI Y, NIU P L, DOU Y Q, WANG S S, LIANG H B, SHEN G M. Cultivation of potassium-enrich tobacco varieties and reduction of tobacco tar production[J]. China Tobacco Science, 1997, 18(4): 15-17. (in Chinese)