昆明学院学报　2021，43（6）：12～18　ISSN 1674－5639　CN 53－1211/G4
Journal of Kunming University

基于 PCA 的云南红河州烟叶常规化学成分特征研究

金红岗[1]，张　涛[2]，王海娟[2]，何雪峰[2]，杨　蕾[2*]
（1. 红云红河烟草（集团）有限责任公司 原料部，云南 昆明 650202；
2. 云南中烟工业有限责任公司 技术中心，云南 昆明 650231）

摘要：为明确红河州烟区烟叶质量特征，对 3 124 份烟叶样品的常规化学成分进行测定，并采用 PCA 方法分析不同部位、品种、产区烟叶的主要化学成分特征．结果表明，不同产区、不同品种间常规化学成分差异不明显，但不同部位间变化特征明显，具体表现为，烟碱、总氮和蛋白质质量分数呈现出 w（上部叶）＞w（中部叶）＞w（下部叶），钾、氯质量分数表现出 w（下部叶）＞w（中部叶）＞w（上部叶）．从烟叶化学成分适宜范围来看，下部叶烟碱质量分数整体略高于适宜值，上部叶钾质量分数和中、下部叶糖氮比过于偏低．

关键词：红河州；烟叶；化学成分；主成分分析
中图分类号：S572　**文献标识码：**A　**文章编号：**1674－5639（2021）06－0012－07
DOI：10. 14091/j. cnki. kmxyxb. 2021. 06. 003

Study on Characteristics of Routine Chemical Components of Tobacco Leaves in Honghe Prefecture Yunnan Province Based on PCA

JIN Honggang[1]，ZHANG Tao[2]，WANG Haijuan[2]，HE Xuefeng[2]，YANG Lei[2*]
（1. Tobacco Research Department，Hongyun Honghe Tobacco Group Co.，Ltd.，Kunming，Yunnan，China　650202；
2. Technology Center，China Tobacco Yunnan Industrial Co.，Ltd.，Kunming，Yunnan，China　650231）

Abstract：To clarify the quality characteristics of tobacco leaves in Honghe Prefecture，the routine chemical components of 3 124 tobacco samples were determined，and the main chemical components of tobacco leaves in different positions，varieties，and producing areas were analyzed by PCA. The results showed that there were no significant differences in routine chemical components among different producing areas and varieties，but the change of quality characteristics was obvious among different positions，which were as follows：the nicotine，total nitrogen，and protein were w（upper）＞w（middle）＞w（lower）；the potassium，the chlorine was w（lower）＞w（middle）＞w（upper）. Refer to the appropriate value of chemical components of tobacco leaves，it was found that the nicotine content of lower leaves was slightly higher than the appropriate value；the potassium content of upper tobacco leaves and the sugar/nitrogen ratio of middle and lower tobacco leaves was too low.

Key words：Honghe Prefecture；tobacco leaves；chemical components；PCA

烟叶作为工业卷烟企业的主要原料，其质量对后续产品配方设计、成品销售等有重要影响．然而，目前国内烤烟收购方式仍采用传统以人为收购为主的烟站式散叶收购模式，该模式难免会出现对烟叶品质因素的理解、部位和相邻等级把握不准，以及分级效果不理想等问题，势必会对今后烟叶使用造成一定的影响．而主成分分析（PCA）通过降维处理，可揭示烟叶的化学成分、品种、产地，乃至年份之间的复杂关系[1]，且该方法可用于评价不同维度样品间的质量差异[2-3]．

云南烤烟主栽品种有 K326、红花大金元、云烟 97 和云烟 87 等[4]，这些品种的种植面积占烤烟

收稿日期：2021－05－31
基金项目：云南中烟工业有限责任公司科技资助项目（2019XX01）．
作者简介：金红岗（1969—），男，云南曲靖人，烟叶分级技师，主要从事烤烟分级、烟叶等级质量检验研究．
*通信作者：杨蕾（1982—），女，北京人，工程师，硕士，主要从事卷烟产品研究，E-mail：9969425@qq. com.

总种植面积的 65%．而红河植烟区不仅是云南省优质烟叶产区之一，还是红云红河烟草（集团）有限责任公司“四大核心原料区”中规模最大的烟区，在云产卷烟生产中起着极其重要的作用[5-6]，因此分析该地区烟叶质量特征有利于后续工业应用．本文结合烟叶分级结果，通过对云南省红河哈尼族彝族自治州（以下简称红河州）3 个县（市）收购烟叶的不同年份、品种、等级、部位常规化学成分的 PCA 分析，得出不同地区、不同年份、不同品种间同部位烟叶品质的差异，以期为后续烟叶工业配方应用提供科学依据．

1　材料与方法

1.1　材料

2018—2020 年，在云南省红河州的弥勒、建水、泸西 3 个县（市）的 26 个乡镇采集当地主栽品种 K326 和云 87 的上部叶（B1F、B2F、B3F、B4F）、中部叶（C1F、C2F、C3F、C4F）、下部叶（X2F、X3F）3 个部位的 10 个等级，样品数量共 3 124 个．样品分布情况详见表 1．

表 1　红河烟区烟叶样品基本信息

取样地点		品种		等级									
县(市)	乡(镇)	K326	云 87	B1F	B2F	B3F	B4F	C1F	C2F	C3F	C4F	X2F	X3F
泸西	白水、金马、旧城、三塘、舞街、向阳、永宁、中枢	414	867	87	39	50		190	205	257	257	151	45
弥勒	东山、虹溪、弥阳、五山、西一、西二、西三、新哨、巡检、竹朋	507	270	38	43	20		74	133	221	139	84	25
建水	岔科、官厅、面甸、利民、李浩寨、甸尾、南庄、青龙	277	789	108	65	40	1	127	144	251	223	91	16
合计	3 个县(市)26 个乡(镇)	1 198	1 926	233	147	110	1	391	482	729	619	326	86
样品总数/个		3 124		3 124									

1.2　方法

1.2.1　测量指标

一般认为优质烟叶总糖质量分数要求达到 18% ~22%、还原糖质量分数为 16% ~18%、还原糖/总糖≥0.9、总氮质量分数为 1.5% ~3.5%、蛋白质质量分数为 8% ~10%、烟碱质量分数为 1.5% ~3.5%、钾质量分数在 2% 以上、氯质量分数在 1% 以下是比较适宜的范围[7]．

根据历年来云南烟叶使用情况，云南省烟草农业科学研究院[8]提出，工业企业适用烟叶的适宜化学成分范围为烟碱以 2.0% ~2.5% 较适宜，蛋白质以 8% ~10% 为宜，总糖以 20% ~25% 较适宜，还原糖以 18% ~24% 为最佳，总氮以 2.5% 为宜，钾为 1.0% ~3.0%、氯为 0.3% ~0.6% 比较理想，氯碱比以 0.8 ~1 比较合适，糖碱比以 6 ~8、两糖比以 0.85 为最佳．此外，不同部位烟叶化学成分适宜范围有所不同，详见表 2．

由于优质烟叶的蛋白质质量分数以 8% ~10% 为宜，若蛋白质质量分数过高则会导致香气和吃味差、刺激性大、品质低劣．钾能提高烟叶的燃烧性，使灰色洁白、叶片柔和，外观品质提高．氯影响烟叶的燃烧性，其质量分数在 1% 以下为宜，氯超过 1% 则燃烧不良，会出现黑灰熄火现象，品质变差[9-10]．糖质量分数高的烟叶，其烟叶品质高，但糖质量分数过高会导致烟气醇和度降低，吃味变淡[11]．总体来说，烤烟的主要化学成分不仅要在适宜范围内，而且其比值也要适宜，才能使之相互协调．

测量指标包括总烟碱、总糖、还原糖、总氮、钾、氯、蛋白质，并计算糖碱比、糖氮比、钾氯比、两糖差、施木克值．测量方法为：总烟碱采用 YC/T 468—2013；氯参照 YC/T 245—2008；还原糖和水溶性糖参照 YC/T 159—2002；总氮采用 YC/T 161—2002；钾参照 YC/T 217—2007；蛋白质参照 YC/T 166—2003．测量结果如表 3、表 4 所示．

表 2 不同部位烟叶化学成分适宜范围

部位	烟碱/%	总糖/%	还原糖/%	总氮/%	钾/%	氯/%	糖氮比	两糖差
上部叶	3.0 ~ 3.5	20 ~ 25	16 ~ 21	1.6 ~ 2.8	> 2	0.3 ~ 0.6	8.9 ~ 12.5	4
中部叶	2.0 ~ 3.0	23 ~ 29	20 ~ 23	1.4 ~ 2.2	> 2	0.3 ~ 0.6	13.2 ~ 16.4	3 ~ 6
下部叶	1.5 ~ 2.0	20 ~ 29	16 ~ 23	1.3 ~ 1.8	> 2	0.3 ~ 0.6	15.4 ~ 16.1	4 ~ 6

1.2.2 数据处理

对 3 124 个烟叶样品主要化学成分数据进行统计分析，结果如表 3 所示.

对不同地区同一年份同一品种同一部位的烟叶化学成分进行分析，计算其平均值，结果如表 4 所示. 采用 SPSS17.0 软件对表 3 的数据进行处理，并使用 PCA 方法对测试样本降维，获得不同数组矩阵 PC_1，PC_2，…，PC_n，归一化处理后进行对比评价[12].

表 3 烟叶样品主要化学成分基本特征

指标	总烟碱/%	总糖/%	还原糖/%	总氮/%	钾/%	氯/%	蛋白质/%	糖碱比	糖氮比	氮碱比	钾氯比	两糖差	施木克值
最小值	0.70	2.45	2.31	1.12	0.00	0.00	2.72	1.58	0.91	0.44	0.00	−3.63	0.34
最大值	6.53	45.16	32.71	3.56	4.52	5.17	37.48	49.38	32.04	2.19	272.00	17.07	10.77
均值	2.97	26.02	20.01	2.23	1.24	0.98	16.15	9.93	12.34	0.79	6.38	6.01	1.86
标准差	0.84	5.67	3.73	0.39	0.92	0.90	4.91	4.94	4.40	0.18	12.77	2.88	1.01
变异系数	0.28	0.22	0.19	0.18	0.74	0.92	0.30	0.50	0.36	0.23	2.00	0.48	0.54

表 4 红河州烟区烟叶样品主要化学成分检测结果

样品	总烟碱/%	总糖/%	还原糖/%	总氮/%	钾/%	氯/%	蛋白质/%	糖碱比	糖氮比	氮碱比	钾氯比	两糖差	施木克值
2020 泸西 K326 上部叶	3.788	22.199	18.280	2.467	1.833	0.280	21.011	6.046	9.141	0.657	10.456	3.918	1.093
2020 泸西 K326 中部叶	3.114	25.790	20.192	2.129	2.265	0.491	17.163	8.866	12.536	0.699	6.076	5.598	1.621
2020 泸西 K326 下部叶	2.265	23.951	18.129	1.755	2.676	0.560	12.261	10.829	13.840	0.784	5.683	5.822	2.012
2020 弥勒 K326 上部叶	3.934	22.817	18.236	2.566	1.661	0.404	21.819	5.900	9.186	0.653	8.869	4.581	1.063
2020 弥勒 K326 中部叶	3.316	26.714	21.249	2.166	2.028	0.603	18.384	8.401	12.918	0.656	3.934	5.466	1.516
2020 弥勒 K326 下部叶	2.940	20.327	15.710	1.693	2.600	0.670	16.547	7.097	12.367	0.573	3.993	4.617	1.260
2020 建水 K326 上部叶	4.082	21.802	17.537	2.660	2.155	0.498	22.638	5.535	8.367	0.659	8.380	4.265	1.001
2020 建水 K326 中部叶	3.391	24.220	19.143	2.304	2.459	0.576	18.704	7.544	10.847	0.693	5.623	5.077	1.376
2020 建水 K326 下部叶	2.872	24.335	18.145	1.838	2.492	0.474	15.966	9.373	14.136	0.656	6.660	6.191	1.699

续表 4

样品	总烟碱 /%	总糖 /%	还原糖 /%	总氮 /%	钾 /%	氯 /%	蛋白质 /%	糖碱比	糖氮比	氮碱比	钾氯比	两糖差	施木克值
2019 泸西云 87 上部叶	3. 765	19. 433	17. 887	2. 821	0. 533	1. 681	20. 482	5. 378	7. 217	0. 758	0. 472	1. 547	0. 991
2019 泸西云 87 中部叶	2. 960	25. 038	20. 039	2. 308	0. 424	1. 772	16. 008	9. 315	11. 461	0. 808	0. 722	4. 999	1. 748
2019 泸西云 87 下部叶	2. 237	23. 178	18. 781	2. 019	0. 404	2. 149	11. 800	11. 104	11. 814	0. 934	0. 967	4. 397	2. 141
2019 弥勒 K326 上部叶	4. 002	21. 366	17. 738	2. 777	0. 400	1. 829	22. 013	5. 554	7. 901	0. 704	0. 237	3. 628	1. 014
2019 弥勒 K326 中部叶	2. 994	27. 447	20. 592	2. 189	0. 356	1. 836	16. 348	9. 836	13. 080	0. 752	1. 005	6. 855	1. 819
2019 弥勒 K326 下部叶	2. 274	24. 924	19. 291	1. 903	0. 312	2. 088	12. 155	11. 841	13. 649	0. 867	0. 154	5. 633	2. 258
2019 建水 K326 上部叶	3. 830	23. 548	19. 355	2. 746	0. 664	1. 803	20. 969	6. 378	8. 930	0. 723	1. 635	4. 193	1. 167
2019 建水 K326 中部叶	2. 895	26. 313	20. 262	2. 230	0. 398	2. 177	15. 688	10. 144	12. 521	0. 800	0. 334	6. 051	1. 900
2019 建水 K326 下部叶	2. 081	26. 837	20. 024	1. 805	0. 336	2. 787	11. 053	14. 368	15. 183	0. 951	0. 122	6. 813	2. 856
2018 泸西 K326 上部叶	3. 322	28. 574	21. 134	2. 412	1. 092	0. 264	18. 158	8. 910	11. 954	0. 742	7. 858	7. 440	1. 642
2018 泸西 K326 中部叶	2. 721	29. 185	21. 591	2. 202	1. 178	0. 253	14. 628	11. 694	13. 844	0. 848	10. 420	7. 594	2. 216
2018 泸西 K326 下部叶	2. 325	29. 733	22. 330	1. 960	1. 340	0. 397	12. 415	12. 872	15. 412	0. 848	6. 968	7. 403	2. 413
2018 弥勒 K326 上部叶	3. 343	23. 580	18. 293	2. 415	1. 740	0. 068	18. 285	7. 710	10. 348	0. 738	15. 658	5. 288	1. 423
2018 弥勒 K326 中部叶	2. 704	30. 504	21. 590	2. 103	1. 157	0. 112	14. 627	12. 496	15. 296	0. 812	13. 434	8. 914	2. 347
2018 弥勒 K326 下部叶	2. 123	27. 981	20. 259	1. 963	1. 769	0. 193	11. 150	14. 303	14. 724	0. 967	21. 507	7. 722	2. 763
2018 建水 K326 上部叶	3. 368	26. 636	20. 205	2. 420	1. 052	0. 138	18. 434	8. 794	11. 663	0. 744	12. 396	6. 431	1. 627
2018 建水 K326 中部叶	2. 613	29. 620	21. 317	2. 112	1. 360	0. 162	14. 053	12. 900	14. 690	0. 863	14. 264	8. 303	2. 470
2018 建水 K326 下部叶	1. 870	30. 026	22. 158	1. 768	1. 620	0. 159	9. 781	17. 593	17. 407	1. 003	16. 466	7. 869	3. 450

2 结果与分析

2.1 常规化学成分 PCA 分析

为进一步探讨红河州 3 个县（市）烟区的 2 个品种 3 个部位常规化学成分差异，对样品的 13 种常规化学成分进行主成分分析，结果见表 5 和表 6. 其中：第 1 主成分特征值和贡献率分别为 5.87 和 65.2%；第 2 主成分特征值和贡献率分别为 2.18 和 24.2%；2 个主成分因子累计贡献率为 89.4%. 表明 PCA 分析能包含所测的常规化学成分的大部分信息.

表 5 2 个主成分特征值及贡献率

类别	贡献率/%	累计贡献率/%	特征值
1	65.2	65.2	5.87
2	24.2	89.4	2.18

表 6 2 个主成分载荷矩阵及其特征值

化学成分	第 1 主成分	第 2 主成分
总烟碱%	0.334	−0.098
总糖/%	−0.266	−0.331
还原糖/%	−0.252	−0.379
总氮/%	0.334	−0.072
钾/%	−0.098	0.493
氯/%	−0.099	−0.358
蛋白质/%	0.333	−0.099
糖碱比	−0.338	0.071
糖氮比	−0.337	−0.061
氮碱比	−0.318	0.182
钾氯比	−0.095	0.499
两糖差	−0.249	−0.231
施木克值	−0.336	0.085
特征值	5.870	2.180

2.2 不同地区、品种和部位的常规化学成分 PCA 分析

从图 1 ~ 图 3 的 PCA 分类图可以看出，常规化学成分在不同地区、不同品种间的差异不明显，而差异主要体现在上、中、下不同部位叶上，因此后续研究应针对不同常规化学成分在不同部位上的差异进行分析.

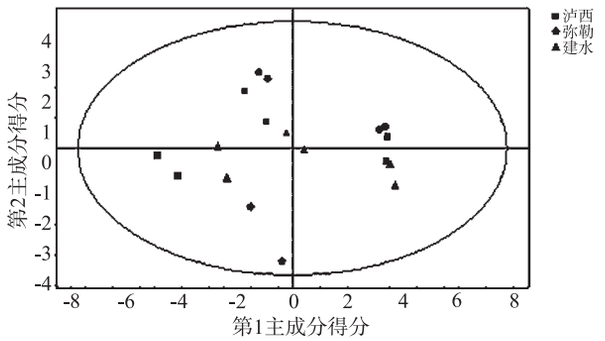

图 1 不同地区烟叶常规化学成分 PCA 分析结果

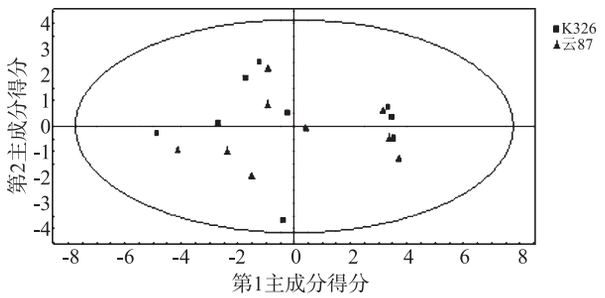

图 2 不同品种烟叶常规化学成分 PCA 分析结果

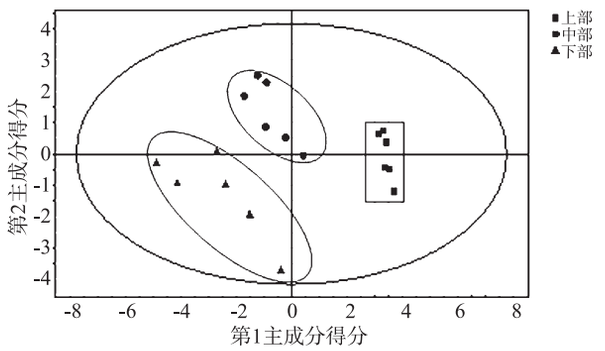

图 3 不同部位烟叶常规化学成分 PCA 分析结果

2.3 不同常规化学成分在不同部位的质量分数变化特征 PCA 分析

在上述研究的基础上，为探索不同部位烟叶的不同常规化学成分质量分数变化特征，采用 PCA 进一步分析，结果如图 4 ~ 图 11 所示.

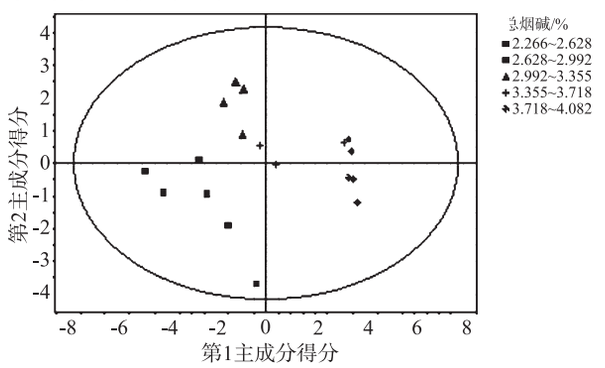

图 4 不同部位烟叶总烟碱质量分数 PCA 分析结果

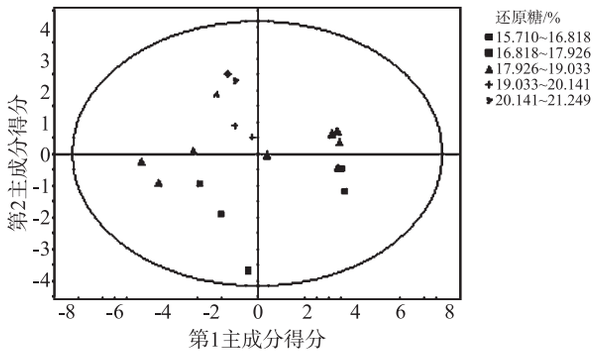

图 5　不同部位烟叶还原糖质量分数 PCA 分析结果

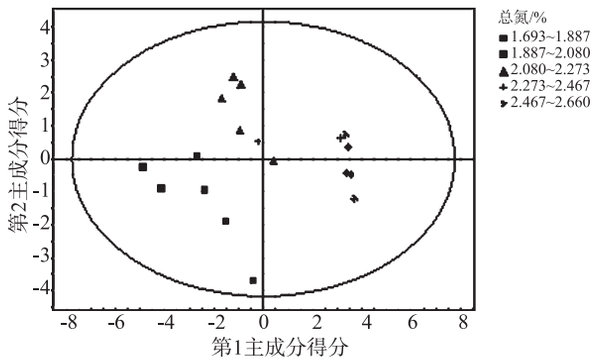

图 6　不同部位烟叶总氮质量分数 PCA 分析结果

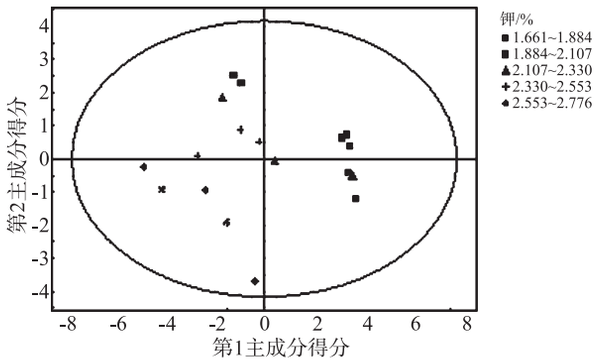

图 7　不同部位烟叶钾质量分数 PCA 分析结果

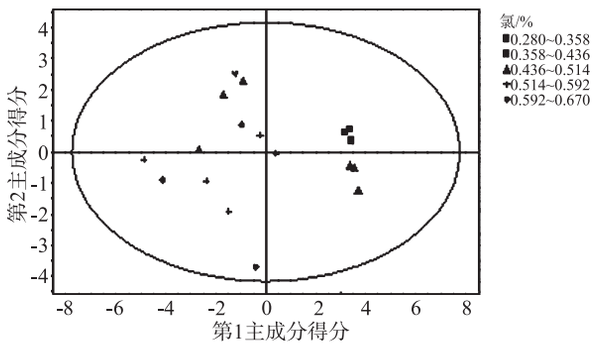

图 8　不同部位烟叶氯质量分数 PCA 分析结果

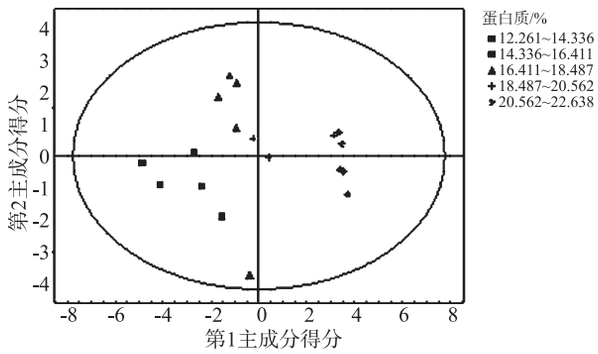

图 9　不同部位烟叶蛋白质质量分数 PCA 分析结果

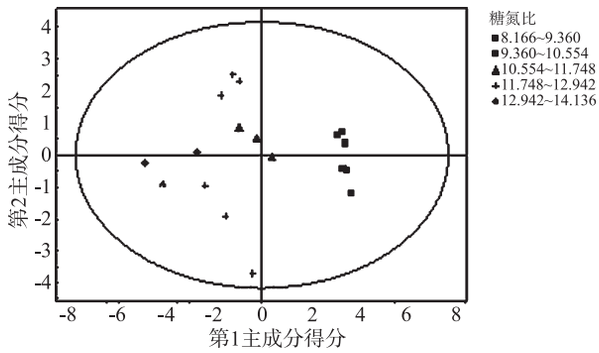

图 10　不同部位烟叶糖氮比 PCA 分析结果

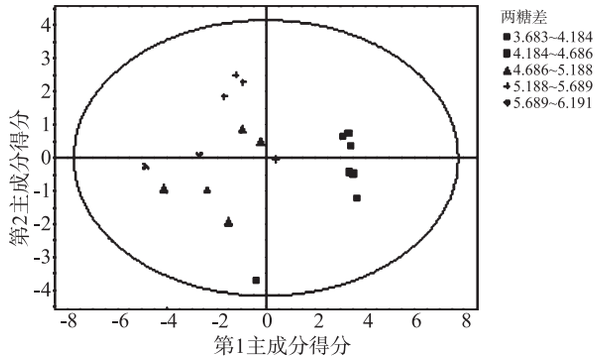

图 11　不同部位烟叶两糖差 PCA 分析结果

由图 4 ~ 图 11 可以看出：

1）w（上部叶总烟碱）为 3.718% ~ 4.082%、w（中部叶总烟碱）为 2.992% ~ 3.718%、w（下部叶总烟碱）为 2.265% ~ 2.992%．不同部位总烟碱质量分数排序为：w（上部叶）> w（中部叶）> w（下部叶）；

2）w（中部叶还原糖）= 19.033% ~ 21.249% > w（上部叶、下部叶还原糖）= 15.710% ~ 19.033%；

3）w（上部叶总氮）= 2.273% ~ 2.660% > w（中部叶总氮）= 2.080% ~ 2.273% > w（下部叶总氮）= 1.693% ~ 2.080%；

4）w（下部叶钾）= 2.553% ~ 2.776% > w（中部叶钾）= 2.107% ~ 2.330% > w（上部叶钾）=

1.661% ~2.107%；

5）w(中部叶、下部叶氯) = 0.514% ~0.670% > w(上部叶氯) = 0.280% ~0.514%；

6）w(上部叶蛋白质) = 20.562% ~22.638% > w(中部叶蛋白质) = 16.411% ~20.562% > w(下部叶蛋白质) = 12.261% ~16.411%；

7）中部叶、下部叶糖氮比 = 10.554 ~14.136 > 上部叶糖氮比 = 8.166 ~10.554；

8）中部叶、下部叶两糖差 = 4.686 ~6.191 > 上部叶两糖差 = 3.683 ~4.686.

参考不同部位烟叶化学成分适宜范围值表 2[8]，并对照本研究所得结果可知，不同部位烟叶的化学成分质量分数变化趋势与表 2 基本一致，未发现大范围变动. 但是下部烟叶烟碱质量分数整体略高于适宜范围上限，上部烟叶钾质量分数过于偏低，中、下部烟叶的糖氮比过于偏低.

3 讨论与结论

3.1 讨论

由研究结果可知，云南省红河州 3 个县（市）烟区的 K326、云 87 烟叶化学成分总体上符合优质烟叶适宜范围，但常规化学成分尚存在以下问题：1）下部叶烟碱质量分数整体略高于适宜值，在后续使用中可能会对卷烟感官指标中的劲头产生影响；2）上部叶的钾质量分数过于偏低，可能会影响卷烟的燃烧性；3）中、下部叶的糖氮比过于偏低，可能会影响卷烟的香味和舒适性. 因此如何调整种植措施，提升上部烟叶钾质量分数，降低下部烟叶烟碱质量分数，适当提升中、下部烟叶的糖质量分数，是红河烟区烟叶生产应解决的问题. 同时对于工业企业来说，如何结合目前红河烟区烟叶质量特征进行配方优化，提高红河烟叶的使用效率，也是应该考虑的问题. 此外，由于本研究仅对 2018—2020 年的烟叶样品进行分析，样本数量有限，还需要对多年、多样本的检测结果进行验证，才能更加全面、客观地反映红河植烟区烟叶的主要化学成分特征.

3.2 结论

本研究分析了 2018—2020 年云南省红河州 3 个县（市）植烟区的 K326、云 87 烟叶样品化学成分特征，结果表明，红河州植烟区的烟叶化学成分总体在优质烟叶范围内，但不同部位常规化学成分存在以下特点：烟叶烟碱、总氮、蛋白质质量分数呈现出 w(上部叶) > w(中部叶) > w(下部叶)；氯质量分数表现为 w(中、下部叶) > w(上部叶)；糖氮比、两糖差表现出中、下部叶 > 上部叶；还原糖表现为 w(中部叶) > w(上、下部叶)；钾表现为 w(下部叶) > w(中部叶) > w(上部叶). 从烟叶化学成分适宜范围来看，下部烟叶烟碱质量分数整体高于适宜范围上限，上部叶钾质量分数及中、下部叶的糖氮比过于偏低.

[参考文献]

[1] 冉军舰，孙华迪，陈晓静，等. 基于主成分与聚类分析的 35 个苹果品种多酚综合评价［J］. 食品工业科技，2017（8）：97，102 - 113.

[2] 牛丽影，刘春菊，李大婧，等. 高温灭菌过程中三种鲜食玉米汁游离糖与氨基酸含量变化比较［J］. 现代食品科技，2019，35（2）：1 - 9.

[3] ROMANO A，MASI P，AVERSANO R，et al. Microstructure and tuber properties of potato varieties with different genetic profiles［J］. Food Chem，2018，239：789 - 796.

[4] 王彦亭，谢剑平，李志宏. 中国烟草种植区划［M］. 北京：科学出版社，2010.

[5] 张静，严君，杨景华，等. 云烟品牌云南原料基地土壤、烟叶氯素含量特征研究［J］. 中国农学通报，2019，35（31）：50 - 55.

[6] 王炽，陈兴位，阮亚男，等. 红河植烟区烟叶主要化学成分含量特征［J］. 西南农业学报，2020，33（12）：2793 - 2799.

[7] 闫克玉，赵铭钦. 烟草原料学［M］. 北京：科学出版社，2008.

[8] 李永平，李天福，吴兴富，等. 云南优质烤烟田间种植技术［M］. 北京：科学出版社，2020.

[9] 闫克玉，陈鹏，刘晓晖. 烤烟 40 级制烟叶主要化学成分分析研究［J］. 郑州轻工业学院学报，1993，8（2）：35 - 39.

[10] 胡建军，马明，李耀光，等. 烟叶主要化学指标与其感官评吸质量的灰色关联分析［J］. 烟草科技，2001（1）：3 - 7.

[11] 陈剑明，杨式华，冯洪涛，等. 云南主产烟区烟叶水溶性糖与感官质量相关及通径分析［J］. 西南农业学报，2017，30（11）：2506 - 2511.

[12] GHOSH D，CHATTOPADHYAY P. Application of principal component analysis（PCA）as a sensory assessment tool for fermented food products［J］. J Food Sci Technol，2012，49（3）：328 - 334.