

宜宾烟区植烟土壤理化性状对烤烟美拉德反应产物的影响

鄢敏¹, 杨懿德¹, 高玉珍², 杨建¹, 李钊³, 陈佛源¹, 刘勇¹, 景延秋³, 叶顶昆¹,
吴凯¹, 卢军¹, 杨洋^{1*}

¹四川省烟草公司宜宾市公司, 四川 宜宾

²甘肃烟草工业有限责任公司技术研发中心, 甘肃 兰州

³河南农业大学, 烟草学院, 河南 郑州

收稿日期: 2022年2月19日; 录用日期: 2022年3月21日; 发布日期: 2022年3月28日

摘要

为探讨土壤理化性状与烤烟美拉德反应产物的关系, 为增加烤烟中性香味物质成分, 为改善烟叶品质、提高烟叶香气质、香气量提供理论依据, 采集宜宾烟区土壤和烤烟样品各248份, 测定土壤理化性状和烤烟美拉德反应产物含量, 运用因子分析法对土壤理化性状指标进行代表因子提取, 将因子分析提取出的土壤理化指标分别与糠醛、糠酮、2-乙酰基呋喃、5-甲基糠醛、3, 4-二甲基-2, 5-呋喃二酮和2-乙酰基吡咯6种美拉德反应产物。结果可知, 土壤理化性状指标中多种因素均密切影响烤烟美拉德反应产物含量, 调控土壤全钾、速效钾对烤烟美拉德反应产物含量的影响最明显, 调控速效磷、Mn、Mg及碱解氮含量对烤烟美拉德反应产物含量的影响次之。

关键词

土壤理化性状, 烤烟, 美拉德反应产物, 通径分析

Effects of Physical and Chemical Properties of Tobacco-Growing Soil in Yibin Tobacco-Growing Area on Maillard Reaction Products of Flue-Cured Tobacco

Min Yan¹, Yide Yang¹, Yuzhen Gao², Jian Yang¹, Zhao Li³, Foyuan Chen¹, Yong Liu¹,
Yanqiu Jing³, Dingkun Ye¹, Kai Wu¹, Jun Lu¹, Yang Yang¹

*通讯作者。

文章引用: 鄢敏, 杨懿德, 高玉珍, 杨建, 李钊, 陈佛源, 刘勇, 景延秋, 叶顶昆, 吴凯, 卢军, 杨洋. 宜宾烟区植烟土壤理化性状对烤烟美拉德反应产物的影响[J]. 植物学研究, 2022, 11(2): 182-191. DOI: 10.12677/br.2022.112022

¹Yibin Branch of Sichuan Tobacco Company, Yibin Sichuan

²Tobacco Industry Co., Ltd. Technology Research and Development Center in Gansu province, Lanzhou Gansu

³College of Tobacco, Henan Agricultural University, Zhengzhou Henan

Received: Feb. 19th, 2022; accepted: Mar. 21st, 2022; published: Mar. 28th, 2022

Abstract

To explore the relationship between soil physical and chemical properties and Maillard reaction products of flue-cured tobacco, to increase neutral aroma components of flue-cured tobacco, and to provide theoretical basis for improving tobacco quality, aroma quality and aroma quantity, 248 samples of soil and flue-cured tobacco were collected from Yibin tobacco-growing areas, and the contents of Maillard reaction products of soil physical and chemical properties and flue-cured tobacco were determined. The representative factors of soil physical and chemical properties were extracted by factor analysis, and the soil physical and chemical indexes extracted by factor analysis were respectively related to six Maillard reaction products of furfural, furfurfurone, 2-acetyl furan, 5-methylfurfural, 3,4-dimethyl-2,5-furandione and 2-acetyl pyrrole. The results show that many factors in soil physical and chemical properties closely affect the content of Maillard reaction products of flue-cured tobacco, and the most obvious effect is to regulate soil total potassium and available potassium, and the second is to regulate the content of available phosphorus, Mn, Mg and alkali-hydrolyzable nitrogen.

Keywords

Soil Physical and Chemical Properties, Flue-Cured Tobacco, Maillard Reaction Products, Path Analysis

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

美拉德反应即棕色化反应,是烟草中特征香味物质形成的重要反应[1]。其产物主要包括糠醛、糠醇、2-乙酰基呋喃、5-甲基糠醛、3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮和2-乙酰基吡咯6种物质。于建军等[2]研究结果发现,美拉德反应产物中糠醛对烤烟香气质和香气量有显著的影响作用;胡建军等[3]研究发现,美拉德反应产物对提高烟叶的感官品质有着重要作用。甘学文[4]等研究发现美拉德反应可以增加卷烟中的香气,显著提高卷烟产品的质量。黄成江等[5]研究发现烤烟对土壤条件反应非常敏感,土壤理化性状与烤烟化学品质密切相关。以宜宾烟区植烟土壤和初烤烟叶为研究对象,探讨土壤理化性状与烤烟美拉德反应产物的关系,为提高烟叶品质提供理论依据。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

土壤样品采集与四川省宜宾市高坪、蒿坝、中都、锦屏、大坝、仙峰、上罗和王家8各烟区,烤烟样品采集与土壤样品采集相对应。

2.2. 试验方法

试验于 2020~2021 年在宜宾烟区开展。采用 GPS 定位技术,采集烟田 0~20 cm 表土层的土样,共 248 份样品。每个土壤样品按照四分法去除多余土壤,留下 1 kg 进行理化性状分析,风干后剔除虫体、植物残体及石头等杂物,研磨后过 60 目筛,装至自封袋于 4℃ 储藏备用。

初烤完成后,在对应烟田采集 C3F 和 B2F 等级烤烟样品,每个处理取 2 kg,于烘箱中 40℃ 烘干 2 h,将烘干的样品研磨过 60 目筛,置于自封袋中保存待用。

2.3. 测定项目及方法

土壤样品测定指标包括土壤 pH、锌、铜、铁、镁、锰、钠、全磷、全钾、速效磷、速效钾、碱解氮、有机质、氯离子等 14 项,均采用常规方法进行测定。

烤烟样品测定指标包括糠醛、糠醇、2-乙酰基呋喃、5-甲基糠醛、3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮和 2-乙酰基吡咯 6 种美拉德反应产物。采用同时蒸馏萃取法提取烟叶样品中的香气成分,于旋转蒸发仪浓缩提取液至 1 mL,将浓缩的提取液于 GC-MS 进行分析。

2.4. 统计分析

利用 Excel 和 SPSS 21.0 对数据进行描述性统计分析、因子分析和通径分析。

3. 结果与分析

3.1. 土壤理化性状指标与烤烟美拉德反应产物含量的描述性统计分析结果

描述性统计分析结果(表 1)显示,土壤各项理化性状指标的变异系数依次为钠 > 钙 > 铜 > 速效磷 > 镁 > 碱解氮 > 速效钾 > 锰 > 全磷 > 全钾 > 铁 > 锌 > 有机质 > 氯离子 > pH,烤烟美拉德反应产物各项指标的变异系数依次为:3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮 > 2-乙酰基吡咯 > 糠醇 > 糠醛 > 5-甲基糠醛 > 2-乙酰基呋喃。除土壤指标种钙和钠大于 100%,为强变异外,其余土壤指标和烤烟指标的变异系数均在 14.82%~88.17%之间,为中等变异。除烤烟美拉德反应产物种糠醛、2-乙酰基呋喃和 5-甲基糠醛偏度系数小于 0,为左偏峰外,其余所有指标偏度系数均大于 0,为右偏峰。其中土壤指标中钙、速效磷和烤烟指标种 3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮的偏度系数较高,正向偏态较明显。

Table 1. Descriptive statistical analysis results of soil physical and chemical properties and Maillard reaction product content of flue-cured tobacco

表 1. 土壤理化性状指标与烤烟美拉德反应产物含量的描述性统计分析结果

样品	指标	观测数	均值	标准差	峰度	偏度	最小值	最大值	变异系数
Sample	Index	Observation number	Mean value	Standard deviation	Kurtosis coefficient	Skewness coefficient	Min value	Max value	CV
土壤 Soil	Cu	248	0.07	0.06	3.44	1.75	0.00	0.33	88.17
	Fe	248	61.78	27.22	-0.19	0.53	10.62	140.99	44.06
	Mg	248	12.02	7.57	4.05	1.80	1.18	45.84	62.95
	Mn	248	0.98	0.56	2.55	1.06	0.11	3.95	57.27
	Na	248	3.33	3.46	2.60	1.76	0.29	19.01	103.86
	Ti	248	6.81	4.16	3.20	1.50	0.44	26.02	61.16
	Zn	248	0.11	0.05	8.06	1.68	0.02	0.43	41.02

Continued

	pH	248	6.21	0.92	-0.82	0.02	4.28	8.25	14.82
	碱解氮 mg/kg	248	74.64	46.03	4.54	1.66	7.35	295.40	61.67
	全磷 g/kg	248	0.92	0.46	1.47	1.14	0.12	2.53	49.83
	速效磷 mg/kg	248	42.34	36.48	7.31	2.35	3.68	235.52	86.17
	全钾 g/kg	248	19.97	8.95	0.01	0.62	0.37	48.43	44.80
	速效钾 mg/kg	248	273.92	163.52	1.20	1.10	34.55	862.42	59.70
	有机质 g/kg	248	35.70	12.68	0.49	0.55	7.10	64.53	35.52
	氯离子 mg/kg	248	12.38	3.45	0.18	0.35	5.21	21.05	27.90
	糠醛	248	14.56	6.31	1.31	-0.70	0.10	35.97	43.36
	糠醇	248	1.56	0.87	0.60	0.73	0.13	4.02	56.06
烤烟 Flue-cured tobacco	2-乙酰基呋喃	248	0.68	0.24	1.00	-0.88	0.04	1.17	34.91
	5-甲基糠醛	248	1.50	0.58	0.62	-1.01	0.07	2.50	38.35
	3,4-二甲基- 2,5-呋喃二酮	248	0.40	0.35	29.22	5.06	0.09	2.65	87.32
	2-乙酰基吡咯	248	0.58	0.33	-0.23	0.66	0.07	1.39	56.25

3.2. 土壤理化性状指标因子分析结果

如表 2 所示, 经过因子分析共筛选出 10 个主因子; 且 10 个主因子的累计贡献率达 91.4%。因子 1~10 分别主要反映锰、全钾、速效磷、速效钾、碱解氮、钠、镁、pH、氯离子和锌的变化。

Table 2. Factor load matrix of soil physical and chemical properties

表 2. 土壤理化性状指标因子载荷矩阵

指标	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 6	因子 7	因子 8	因子 9	因子 10
Index	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9	Factor 10
铜 Cu	-0.047	0.448	0.073	-0.172	-0.150	-0.303	-0.038	0.165	0.064	0.216
铁 Fe	0.340	-0.015	-0.096	0.005	0.019	0.061	0.099	-0.010	-0.007	-0.085
镁 Mg	-0.014	0.003	-0.019	0.101	0.052	0.059	0.942	-0.011	0.011	-0.059
锰 Mn	0.919	-0.174	0.037	-0.089	-0.152	-0.157	-0.117	0.097	0.176	0.019
钠 Na	0.050	-0.098	0.124	0.070	-0.039	0.901	0.005	-0.041	0.053	-0.004
钛 Ti	0.363	-0.064	-0.044	-0.023	0.030	0.149	0.033	-0.109	-0.065	-0.149
锌 Zn	-0.102	0.030	-0.016	-0.057	0.014	-0.049	-0.030	-0.031	0.040	0.995
pH	0.008	0.019	0.050	0.015	0.054	-0.033	-0.011	0.959	-0.014	-0.035
碱解氮 Alkaline hydrolyzable nitrogen	-0.057	0.081	-0.126	-0.170	0.977	-0.053	0.063	0.055	-0.017	0.020
全磷 Total P	0.059	0.164	0.258	0.235	0.156	0.294	-0.215	0.105	-0.070	-0.097
速效磷 Available P	-0.064	-0.018	0.943	-0.218	-0.119	0.057	0.059	0.044	0.026	-0.033
全钾 Total K	-0.108	0.923	-0.119	0.147	0.149	0.068	0.028	-0.108	0.071	-0.071

Continued

速效钾 Available K	-0.071	0.079	-0.242	0.953	-0.140	0.078	0.136	0.006	-0.035	-0.086
有机质 Organic matter	0.080	-0.293	0.358	0.055	-0.079	-0.168	-0.103	-0.072	0.085	0.210
氯离子 Chlorion	0.051	0.079	0.036	-0.022	-0.014	0.040	0.015	-0.008	0.991	0.040
方差贡献 Variance contribution	19.426	11.484	9.223	8.516	7.478	7.406	7.085	7.007	6.932	6.858
累计贡献 Cumulative contribution	19.426	30.910	40.133	48.649	56.127	63.533	70.618	77.625	84.557	91.415

3.3. 土壤理化性状指标对烤烟美拉德反应产物的通径分析结果

3.3.1. 对烤烟糠醛含量的通径分析结果

由表 3 可知,速效钾对糠醛含量的直接通径系数为 0.7329,正向直接效应最大,且相关系数为 0.499,碱解氮对糠醛的直接通径系数为 0.4068,仅次于速效磷;也起较大的正向效应;Zn 对糠醛含量的直接通径系数为-0.6623,对糠醛含量的负向效应最大,土壤速效磷和全钾对糠醛含量的直接通径系数分别为-0.5562 和-0.5061,仅次于 Zn。其余土壤理化性状指标对糠醛含量的直接通径系数较小,对糠醛含量的影响不明显。由此可知,土壤速效钾和全钾分别是影响烤烟糠醛含量的主导因素和次要因素。

Table 3. Path analysis results of soil physical and chemical properties on furfural content of flue-cured tobacco
表 3. 对烤烟糠醛含量的通径分析结果

指标 Index	相关系数 Correlation coefficient	镁 Mg	锰 Mn	钠 Na	锌 Zn	pH	碱解氮 Alkaline hydrolyzable nitrogen	速效磷 Available P	全钾 Total K	速效钾 Available K	氯离子 Chlorion
镁 Mg	-0.087	<u>0.198</u>	0.070	0.000	-0.155	0.001	0.005	-0.050	-0.366	0.200	0.010
锰 Mn	0.298	0.097	<u>0.142</u>	0.000	-0.444	0.006	0.125	-0.061	-0.089	0.516	0.007
钠 Na	-0.231	0.036	-0.004	<u>0.002</u>	-0.181	0.017	0.076	-0.085	-0.178	0.082	0.004
锌 Zn	0.008	0.046	0.095	0.001	<u>-0.662</u>	0.001	0.115	0.047	-0.007	0.369	0.003
pH	0.250	0.001	0.014	0.001	-0.014	<u>0.064</u>	-0.071	0.173	0.093	-0.011	0.000
碱解氮 Alkaline hydrolyzable nitrogen	0.270	0.002	0.044	0.000	-0.187	-0.011	<u>0.407</u>	-0.354	-0.027	0.394	0.002
速效磷 Available P	0.049	0.018	0.016	0.000	0.056	-0.020	0.259	<u>-0.556</u>	-0.086	0.353	0.010
全钾 Total K	-0.411	0.143	0.025	0.001	-0.009	-0.012	0.022	-0.094	<u>-0.506</u>	0.018	0.001
速效钾 Available K	0.499	0.054	0.100	0.000	-0.334	-0.001	0.218	-0.268	-0.013	<u>0.733</u>	0.008
氯离子 Chlorion	-0.092	-0.059	-0.028	0.000	0.055	0.000	-0.029	0.155	0.018	-0.169	<u>-0.035</u>

3.3.2. 对烤烟糠醇含量的通径分析结果

由表 4 可知，碱解氮对烤烟糠醇的直接通径系数为 0.852，且相关系数为 0.686，对烤烟糠醇含量的正向直接效应最大；土壤全钾对烤烟糠醇的直接通径系数为-0.695，且相关系数为-0.385，对烤烟糠醇含量的负向直接效应最大；其余土壤理化性状指标对糠醇含量的直接通径系数较小，对糠醇含量的影响不明显。由此可知，碱解氮和全钾分别是影响烤烟糠醇含量的主导因素和次要因素。

Table 4. Path analysis results of soil physical and chemical properties on furfural content of flue-cured tobacco

表 4. 对烤烟糠醛含量的通径分析结果

指标 Index	相关系数 Correlation coefficient	镁 Mg	锰 Mn	钠 Na	锌 Zn	pH	碱解氮 Alkaline hydrolyzable nitrogen	速效磷 Available P	全钾 Total K	速效钾 Available K	氯离子 Chlorion
镁 Mg	-0.074	<u>0.458</u>	0.052	-0.001	-0.043	0.001	0.009	-0.025	-0.502	0.056	-0.080
锰 Mn	0.425	0.224	<u>0.107</u>	0.000	-0.122	0.016	0.261	-0.031	-0.122	0.145	-0.053
钠 Na	-0.067	0.082	-0.003	<u>-0.006</u>	-0.050	0.042	0.160	-0.043	-0.244	0.023	-0.029
锌 Zn	0.334	0.107	0.072	-0.002	<u>-0.182</u>	0.003	0.240	0.024	-0.010	0.104	-0.022
pH	0.232	0.003	0.011	-0.002	-0.004	<u>0.159</u>	-0.148	0.087	0.127	-0.003	0.001
碱解氮 Alkaline hydrolyzable nitrogen	0.686	0.005	0.033	-0.001	-0.051	-0.028	<u>0.852</u>	-0.178	-0.037	0.111	-0.019
速效磷 Available P	0.186	0.041	0.012	-0.001	0.015	-0.050	0.543	<u>-0.280</u>	-0.118	0.099	-0.075
全钾 Total K	-0.385	0.331	0.019	-0.002	-0.003	-0.029	0.046	-0.048	<u>-0.695</u>	0.005	-0.010
速效钾 Available K	0.555	0.125	0.075	-0.001	-0.092	-0.002	0.458	-0.135	-0.017	<u>0.206</u>	-0.062
氯离子 Chlorion	0.124	-0.135	-0.021	0.001	0.015	0.000	-0.060	0.078	0.024	-0.048	<u>0.270</u>

3.3.3. 对烤烟 2-乙酰基吡喃含量的通径分析结果

由表 5 可知，速效磷对烤烟 2-乙酰基吡喃含量的直接通径系数为-1.100，说明其两者数据具有极强的共线性，负向直接效应最大，其相关系数为-0.305；速效钾对烤烟 2-乙酰基吡喃含量的直接通径系数为 0.824，正向直接效应最大，且相关系数为 0.321；其余土壤理化性状指标对烤烟 2-乙酰基吡喃含量的直接通径系数均较小，对 2-乙酰基吡喃含量的影响较小。由此可知，土壤速效磷和速效钾分别是影响烤烟 2-乙酰基吡喃含量的主要因素和次要因素。

3.3.4. 对烤烟 5-甲基糠醛含量的通径分析结果

由表 6 可知，土壤 Mg 对烤烟 5-甲基糠醛含量的直接通径系数为-0.815，正向直接效应最大；土壤全钾和速效钾对烤烟 5-甲基糠醛含量的直接通径系数分别为 0.475 和 0.493，相关系数分别为 0.085 和 0.093；其余土壤理化性状指标对 5-甲基糠醛的直接通径系数较小，影响较小。由此可知，土壤 Mg 是影响烤烟 5-甲基糠醛的主导因素，土壤全钾和速效钾是影响烤烟 5-甲基糠醛的次要因素。

Table 5. Path analysis results of 2- acetyl furan content in flue-cured tobacco

表 5. 对烤烟 2-乙酰基呋喃含量的通径分析结果

指标 Index	相关系数 Correlation coefficient	镁 Mg	锰 Mn	钠 Na	锌 Zn	pH	碱解氮 Alkaline hydrolyzable nitrogen	速效磷 Available P	全钾 Total K	速效钾 Available K	氯离子 Chlorion
镁 Mg	0.183	<u>0.329</u>	-0.227	0.028	-0.040	0.000	0.006	-0.098	-0.076	0.225	0.036
锰 Mn	0.216	0.161	<u>-0.464</u>	-0.004	-0.114	-0.001	0.174	-0.121	-0.019	0.581	0.024
钠 Na	0.185	0.059	0.013	<u>0.156</u>	-0.046	-0.003	0.107	-0.168	-0.037	0.092	0.013
锌 Zn	0.315	0.077	-0.311	0.043	<u>-0.170</u>	0.000	0.160	0.093	-0.002	0.415	0.010
pH	0.232	0.002	-0.046	0.041	-0.004	<u>-0.012</u>	-0.099	0.342	0.019	-0.012	0.000
碱解氮 Alkaline hydrolyzable nitrogen	0.158	0.004	-0.142	0.029	-0.048	0.002	<u>0.568</u>	-0.701	-0.006	0.442	0.009
速效磷 Available P	-0.305	0.029	-0.051	0.024	0.014	0.004	0.362	<u>-1.100</u>	-0.018	0.396	0.034
全钾 Total K	-0.026	0.237	-0.082	0.055	-0.002	0.002	0.031	-0.187	<u>-0.105</u>	0.020	0.004
速效钾 Available K	0.321	0.090	-0.327	0.017	-0.086	0.000	0.305	-0.529	-0.003	<u>0.824</u>	0.028
氯离子 Chlorion	-0.052	-0.097	0.092	-0.017	0.014	0.000	-0.040	0.305	0.004	-0.190	<u>-0.123</u>

Table 6. Path analysis results of 5-methylfurfural content in flue-cured tobacco

表 6. 对烤烟 5-甲基糠醛含量的通径分析结果

指标 Index	相关系数 Correlation coefficient	镁 Mg	锰 Mn	钠 Na	锌 Zn	pH	碱解氮 Alkaline hydrolyzable nitrogen	速效磷 Available P	全钾 Total K	速效钾 Available K	氯离子 Chlorion
镁 Mg	0.155	<u>-0.815</u>	0.089	-0.047	0.051	0.000	0.000	-0.027	0.343	0.135	0.055
锰 Mn	-0.103	-0.399	<u>0.181</u>	0.007	0.148	-0.006	0.007	-0.034	0.083	0.348	0.037
钠 Na	0.780	-0.146	-0.005	<u>-0.262</u>	0.060	-0.015	0.004	-0.047	0.167	0.055	0.020
锌 Zn	0.221	-0.191	0.122	-0.071	<u>0.220</u>	-0.001	0.006	0.026	0.007	0.248	0.016
pH	0.220	-0.006	0.018	-0.069	0.005	<u>-0.057</u>	-0.004	0.095	-0.087	-0.007	-0.001
碱解氮 Alkaline hydrolyzable nitrogen	0.402	-0.009	0.055	-0.049	0.062	0.010	<u>0.023</u>	-0.195	0.026	0.265	0.013
速效磷 Available P	0.226	-0.073	0.020	-0.040	-0.019	0.018	0.014	<u>-0.306</u>	0.081	0.237	0.052
全钾 Total K	0.085	-0.589	0.032	-0.092	0.003	0.010	0.001	-0.052	<u>0.475</u>	0.012	0.007
速效钾 Available K	0.093	-0.223	0.128	-0.029	0.111	0.001	0.012	-0.147	0.012	<u>0.493</u>	0.043
氯离子 Chlorion	-0.129	0.241	-0.036	0.028	-0.018	0.000	-0.002	0.085	-0.017	-0.114	<u>-0.187</u>

3.3.5. 对烤烟 3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮含量的通径分析结果

由表 7 可知, 土壤 Na 对烤烟 3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮含量的直接通径系数为 0.832, 正向直接效应最大; 土壤 Mg 对烤烟 3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮含量的直接通径系数为 0.746, 仅次于土壤 Na; 土壤全钾对烤烟 3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮含量的直接通径系数为-0.715, 负向直接效应最大。由此可知, 土壤 Mg 和全钾分别为影响烤烟 3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮含量的主要因素和次要因素。

Table 7. Path analysis results of 3,4-dimethyl-2,5-furandione content in flue-cured tobacco
表 7. 土壤理化性状指标对烤烟 3,4-二甲基-2, 5-呋喃二酮含量的通径分析结果

指标 Index	相关系数 Correlation coefficient	镁 Mg	锰 Mn	钠 Na	锌 Zn	pH	碱解氮 Alkaline hydrolyzable nitrogen	速效磷 Available P	全钾 Total K	速效钾 Available K	氯离子 Chlorion
镁 Mg	-0.217	<u>0.746</u>	-0.148	0.149	0.004	0.000	0.005	0.000	-0.517	-0.062	-0.023
锰 Mn	0.372	0.365	<u>-0.302</u>	-0.023	0.012	-0.002	0.148	0.000	-0.126	-0.159	-0.016
钠 Na	-0.169	0.133	0.008	<u>0.832</u>	0.005	-0.006	0.091	0.001	-0.251	-0.025	-0.008
锌 Zn	0.381	0.175	-0.203	0.227	<u>0.017</u>	-0.001	0.136	0.000	-0.010	-0.114	-0.007
pH	-0.112	0.005	-0.030	0.218	0.000	<u>-0.023</u>	-0.084	-0.001	0.131	0.003	0.000
碱解氮 Alkaline hydrolyzable nitrogen	0.200	0.008	-0.093	0.156	0.005	0.004	<u>0.484</u>	0.002	-0.038	-0.121	-0.006
速效磷 Available P	-0.016	0.067	-0.033	0.127	-0.001	0.007	0.309	<u>0.003</u>	-0.121	-0.108	-0.022
全钾 Total K	-0.193	0.539	-0.053	0.292	0.000	0.004	0.026	0.001	<u>-0.715</u>	-0.006	-0.003
速效钾 Available K	0.400	0.204	-0.213	0.093	0.009	0.000	0.260	0.001	-0.018	<u>-0.225</u>	-0.018
氯离子 Chlorion	-0.200	-0.220	0.060	-0.088	-0.001	0.000	-0.034	-0.001	0.025	0.052	<u>0.079</u>

3.3.6. 对烤烟 2-乙酰基吡咯含量的通径分析结果

由表 8 可知, 土壤速效钾对烤烟 2-乙酰基吡咯含量的通径系数为 0.972, 相关系数为 0.500, 对烤烟 2-乙酰基吡咯含量的正向直接效应最大; 土壤 Zn 对烤烟 2-乙酰基吡咯含量的通径系数为 0.710, 相关系数为 0.327, 对烤烟 2-乙酰基吡咯的正向直接效应仅次于速效钾; 土壤 Mn 对烤烟 2-乙酰基吡咯含量的直接通径系数为-1.069, 相关系数为 0.077, 对烤烟 2-乙酰基吡咯含量的负向直接效应最大。由此可知, 土壤速效钾和 Mn 是影响烤烟 2-乙酰基吡咯含量变化的主要因素和次要因素。

Table 8. Path analysis results of 2- acetylpyrrole content in flue-cured tobacco
表 8. 对烤烟 2-乙酰基吡咯含量的通径分析结果

指标 Index	相关系数 Correlation coefficient	镁 Mg	锰 Mn	钠 Na	锌 Zn	pH	碱解氮 Alkaline hydrolysable nitrogen	速效磷 Available P	全钾 Total K	速效钾 Available K	氯离子 Chlorion
镁 Mg	-0.027	<u>-0.418</u>	-0.524	-0.032	0.166	0.004	-0.002	0.011	0.388	0.266	0.114
锰 Mn	0.077	-0.205	<u>-1.069</u>	0.005	0.476	0.055	-0.054	0.013	0.095	0.685	0.076

Continued

钠 Na	0.437	-0.075	0.030	<u>-0.179</u>	0.194	0.145	-0.033	0.018	0.189	0.108	0.041
锌 Zn	0.327	-0.098	-0.718	-0.049	<u>0.710</u>	0.012	-0.049	-0.010	0.007	0.490	0.032
pH	0.292	-0.003	-0.107	-0.047	0.015	<u>0.554</u>	0.030	-0.037	-0.098	-0.014	-0.001
碱解氮 Alkaline hydrolyzable nitrogen	0.217	-0.005	-0.327	-0.034	0.200	-0.096	<u>-0.175</u>	0.076	0.029	0.522	0.027
速效磷 Available P	0.259	-0.037	-0.118	-0.027	-0.060	-0.172	-0.112	<u>0.119</u>	0.091	0.468	0.107
全钾 Total K	-0.059	-0.302	-0.188	-0.063	0.010	-0.101	-0.009	0.020	<u>0.537</u>	0.024	0.014
速效钾 Available K	0.500	-0.114	-0.753	-0.020	0.357	-0.008	-0.094	0.057	0.013	<u>0.972</u>	0.089
氯离子 Chlorion	-0.353	0.123	0.211	0.019	-0.059	0.001	0.012	-0.033	-0.019	-0.224	<u>-0.385</u>

4. 讨论

土壤中钾分为 4 部分：矿物性钾、缓效性钾、交换态钾和水溶性钾，后两者属速效性钾，土壤速效钾含量的检测对土壤肥力、满足烟叶生长的营养要求都具有重要意义[6]。本研究结果表明，土壤速效钾与烤烟美拉德反应 5 种主要产物含量的相关系数分别为 0.499、0.555、0.400、0.093、-0.225 和 0.500，直接通径系数分别为 0.733、0.206、0.824、0.493、0.400 和 0.972，与 5 种美拉德反应产物含量的关系密切。研究表明，在一定范围内，随着土壤速效钾含量的升高，烤烟致香成分含量随之增加[7]。本研究结果与邓小华等[8]研究结果中土壤主要养分中速效钾对烤烟中性致香物质的影响程度最大的结论一致。

磷是烤烟生长发育过程中必需的营养元素之一，在烟株体内代谢过程中起至关重要的作用[9]。本研究结果表明，土壤速效磷与烤烟美拉德反应 5 种主要产物含量的直接通径系数为-0.556、-0.280、-1.100、0.493、-0.016 和 0.972，土壤速效磷对美拉德反应产物中的糠醛、糠醇、2-乙酰基呋喃和 3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮呈负相关；对 5-甲基糠醛和 2-乙酰基吡咯含量呈正相关，是因为随着土壤有效磷的含量增加，植物中氨基酸、可溶性糖等总量呈先升高后降低的趋势[10]，适宜范围的有效磷可以提高氨基酸和还原性糖的含量，从而提高美拉德反应产物的含量，进而改善烤烟的香气质量。

镁元素是植物生长所必需的营养元素，是仅次于氮、磷、钾之后的第四大营养元素[11]，镁元素可以增强烤烟光合作用，提高烤烟叶绿素含量[12]。本研究结果表明，土壤 Mg 对 6 种烤烟美拉德反应产物含量的直接通径系数分别为 0.198、0.458、0.469、-0.815、0.746 和-0.418，对烤烟美拉德反应产物含量起正向影响效果，刘国顺[13]表明镁可以活化氨基酸，对美拉德反应起到正向作用，本研究结果与其结果一致。

5. 结论

土壤理化性状指标中多种因素均密切影响烤烟美拉德反应产物含量，调控土壤全钾、速效钾对烤烟美拉德反应产物含量的影响最明显，调控速效磷、Mn、Mg 及碱解氮含量对烤烟美拉德反应产物含量的影响次之。

参考文献

- [1] 朱龙杰, 张华, 吴洋, 陈晶波, 曹毅, 廖惠云, 王瑞, 朱怀远, 沈晓晨, 毛淑蕊. 碱性体系下美拉德反应产物中关键香味成分的种类及质量分数[J]. 烟草科技, 2020, 53(6): 41-47+80.
- [2] 于建军, 庞天河, 任晓红, 李琳, 代慧娟, 李爱军. 烤烟中性致香物质与评吸结果关系研究[J]. 河南农业大学学报, 2006, 40(4): 346-349.
- [3] 胡建军, 周冀衡, 李文伟, 冯晓民. 烤烟香味成分与其感官质量的典型相关分析[J]. 烟草科技, 2007(3): 9-15+22.
- [4] 甘学文, 王光耀, 邓仕彬, 张春晖, 崔和平, 刘曙光, 于静洋, 成涛, 张晓鸣. 外源美拉德反应中间体在卷烟加工中的含量变化及致香效果[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 77-82.
- [5] 黄成江, 张晓海, 李天福, 王树会, 李强. 植烟土壤理化性状的适宜性研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2007, 9(1): 42-46.
- [6] 杨小秋, 汪健, 王林, 余勇杰, 王欣. 火焰原子吸收光谱法测定植烟土壤中的速效钾[J]. 烟草科技, 2012(10): 65-67.
- [7] 陈义强. 氮磷钾肥对烤烟内在品质的影响及其施肥模型[D]: [博士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2008.
- [8] 邓小华, 谢鹏飞, 彭新辉, 易建华, 周冀衡, 周清明, 蒲文宣, 代远刚. 土壤和气候及其互作对湖南烤烟部分中性挥发性香气物质含量的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(8): 2063-2071.
- [9] 焦玉生, 王鹏, 刘含东, 陈连昌. 植烟土壤速效磷含量及变化规律的研究[J]. 中国烟草科学, 2007, 28(1): 36-39.
- [10] 王刚, 郑苍松, 李鹏程, 刘敬然, 刘爱忠, 孙淼, 赵新华, 余学科, 董合林. 土壤有效磷含量对棉花幼苗干物质积累和碳氮代谢的影响[J]. 棉花学报, 2016, 28(6): 609-618.
- [11] 魏秋兰. 不同镁肥对烤烟产质量形成及烤后烟叶外观色泽的影响[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南农业大学, 2017.
- [12] 王宝林, 贾国涛, 白银帅, 程良琨, 刘超, 孙九喆, 陈洋, 艾丹, 崔廷, 王晓瑜, 张俊岭, 刘惠民. 我国烤烟镁含量分布特点及与化学成分和有机酸的关系[J]. 中国烟草科学, 2021, 42(1): 68-72+78.
- [13] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 第2版. 北京: 中国农业出版社, 2017.