

不同前茬作物对植烟土壤养分及烤烟产量和品质的影响^①

张 燕¹, 李宇强¹, 丁 海¹, 王胜利¹, 杨环宇¹, 洪 杰^{1*}, 刘新民^{2*}

(1 内蒙古昆明卷烟有限责任公司, 呼和浩特 010020; 2 中国农业科学院烟草研究所, 山东青岛 266101)

摘 要: 为明确不同前茬作物对植烟土壤与烤烟产质量的影响, 采用田间试验, 以冬闲为对照, 研究了萝卜、玉米、苦荞、小麦、大麦、绿肥、青稞 7 种前茬作物对土壤养分及烤烟农艺性状、经济性状和烟叶化学成分、感官质量的影响。结果表明: ①与冬闲处理相比较, 绿肥与青稞前作处理的植烟土壤 pH 分别提高 0.02 和 0.16 个单位, 萝卜和玉米前作处理土壤水解性氮含量分别提高 26.63% 和 32.06%, 大麦与青稞前作处理土壤速效钾含量分别提高 6.64% 和 4.44%, 前作处理均提高了土壤有效磷含量; ②不同前作处理的烤烟农艺性状与经济性状存在显著性差异, 玉米前作显著增加烤烟有效叶片数, 萝卜、玉米、苦荞前作显著提高了烤烟株高, 绿肥前作提高中上等烟与上等烟比例, 小麦、大麦和青稞前作提高烤烟产值, 分别增加了 17.03%、14.11% 和 3.99%; ③不同前作处理的烟叶化学成分存在显著性差异, 绿肥前作处理显著提高上部烟叶总糖和还原糖含量, 增加幅度分别为 11.77% 和 12.27%; 小麦和大麦前作显著提高上部烟叶钾含量, 增加幅度为 30.43% ~ 53.91%; 萝卜和青稞前作处理显著提高中部烟叶和下部烟叶糖含量, 增加幅度 37.55% ~ 67.66%; 玉米、大麦、小麦、青稞前作处理显著提高中部烟叶钾含量, 幅度达到 5.80% ~ 28.40%; 同时萝卜、青稞前作有利于提高烟叶清甜香韵, 增加烟叶香气质和香气量, 降低烟叶刺激性和杂气。综合考虑不同作物前作后植烟土壤养分特性与烤烟农艺性状、经济性状、内在化学成分与感官质量, 推荐烤烟适宜的前茬作物主要为青稞, 有利于提高土壤有效磷、有效钾含量和烤烟产量和产值, 增加烟叶糖含量和钾含量, 改善烟叶感官评吸质量。

关键词: 前茬作物; 烤烟; 土壤养分; 烟叶产质量

中图分类号: S572.01 **文献标志码:** A

Effects of Different Preceding Crops on Soil Nutrients, Yield and Quality of Flue-cured Tobacco

ZHANG Yan¹, LI Yuqiang¹, DING Hai¹, WANG Shengli¹, YANG Huanyu¹, HONG Jie^{1*}, LIU Xinmin^{2*}

(1 Inner Mongolia Kunming Cigarette Co., Ltd., Hohhot 010020, China; 2 Institute of Tobacco Research of CAAS, Qingdao, Shandong 266101, China)

Abstract: In order to clarify the effects of different preceding crops on tobacco-planting soil and yield and quality of flue-cured tobacco, a field experiment was conducted with winter fallow as the control to study the effects of seven preceding crops, including radish, corn, tartary buckwheat, wheat, barley, green manure, and highland barley, on soil nutrients, agronomic and economic traits of flue-cured tobacco, chemical composition, and sensory quality of tobacco leaves. The results showed that: 1) Compared with the winter fallow treatment, green manure and highland barley increased soil pH by 0.02 and 0.12 units, respectively. Radish and corn increased soil hydrolyzable nitrogen content by 26.63% and 32.06%, respectively. Barley and highland barley increased soil available potassium content by 6.64% and 4.44%, respectively. All previous cropping increased soil available phosphorus content. 2) There were significant differences in agronomic and economic traits of tobacco under different pre-planting treatments. Maize significantly increased the number of effective leaves. Radish, maize, and tartary buckwheat significantly increased plant height of tobacco. Green manure increased the yield and the proportion of superior tobacco leaves. Wheat, barley, and highland barley increased the output value of tobacco leaves by 17.03%, 14.11%, and 3.99%, respectively. 3) There were significant differences in the chemical components of tobacco leaves under different pre-treatments. Green manure significantly increased total sugar and reducing sugar contents in the upper leaves by 11.77% and 12.27%, respectively. Wheat and barley significantly increased potassium content in the upper leaves by 30.43% – 53.91%. Radish and highland barley

①基金项目: 内蒙古昆明卷烟有限责任公司重点科技项目(MK/KJ78-2022)资助。

* 通信作者(liuxinmin@caas.cn; hongjie5527@163.com)

作者简介: 张燕(1975—), 女, 河北承德人, 本科, 烟叶评级技师, 主要从事烟叶原料研究。E-mail: 784333171@qq.com

significantly increased sugar content by 37.55% – 67.66% in middle and lower leaves, respectively. Maize, barley, wheat, and highland barley significantly increased potassium content in the middle leaves by 5.80% – 28.40%. Meanwhile, radish and highland barley were beneficial to improve sweet aroma, increase aroma quality and quantity, and reduce the irritation and offensive odor of leaves. Comprehensive considering soil nutrient characteristics, agronomic and economic traits of tobacco, chemical composition, and sensory quality of tobacco leaves under different preceding crops, highland barley is recommended for the study area, which can increase soil available phosphorus and potassium contents, tobacco yield and output value, sugar and potassium content, and sensory evaluation quality of tobacco leaves.

Key words: Preceding crop; Flue-cured tobacco; Soil nutrients; Yield and quality of tobacco leaves

烤烟品种“红花大金元”因其清甜香凸显、香气丰富、吃味醇和、余味干净等优势,受到卷烟工业企业和消费者的青睐,呈现出“供不应求”的现状^[1]。昆明市每年红花大金元烤烟品种的种植面积达到 27 万亩左右(15 亩=1 hm²),已成为全国和云南省红花大金元种植规模最大的烟区。但是,多年来为追求烟叶产量,过度施用化肥、复种指数高等导致烟区土壤养分失衡和烟叶品质下降^[2-3]。尤其氮肥过量施用和贡献率加剧递减,限制了烤烟品种风格特征彰显与烟叶质量的提升^[4],很大程度上影响了红花大金元烤烟品种的种植效益,严重制约优质烟叶原料供应能力。

研究表明,不同作物前作对土壤养分和后茬作物产质量的影响不容忽视^[5]。合理优化烤烟种植前茬作物制度,可改善土壤养分和提高烤烟产质量。刘枫等^[6]研究发现,烤烟前茬为绿肥的植烟土壤氮含量最高,油菜次之,再是大麦和小麦。段玉琪等^[7]研究表明紫色植烟土壤条件下前茬种植蚕豆可提高土壤有机质和速效养分含量。嵇其翠等^[8]研究表明前茬种植大蒜与绿肥均能改善烟田土壤条件和提高烟叶产量。刘浩等^[9]对不同土壤类型前茬作物对烤烟化学成分和品质的影响研究发现,水稻土以小麦为前作、红壤以绿肥为前作的烟叶化学成分最优,并提高了烟叶香气量,彰显其清香风格。王斌等^[10]研究发现,以小麦为前茬可降低烟叶烟碱与氯含量,提高烟叶品质。同时,除了不同前茬作物种类,施氮水平以及土壤肥力差异可显著影响烤烟生长发育和产质量^[11]。因此,烤烟生产中,一方面要选择适宜的前茬作物,另一方面要根据前茬作物的营养特性与土壤肥力供应进行氮肥运筹,促进烤烟生长发育和提升烟叶品质。彭云等^[12]研究报道,以绿肥为前茬常规施肥下烤烟后期生长过旺,不利于落黄,影响烤烟田间采收与品质。前茬作物为绿肥或油菜时,可减少氮肥施用量 25% 和 9% 有利于协调烟叶化学成分^[13];不施氮肥时,对烤烟生物量影响从高到低的前茬作物依次为豌豆、油菜、洋葱和大麦^[11]。

目前,烤烟前茬作物研究主要集中在绿肥、冬闲、油菜、玉米、小麦、大豆等,而针对以萝卜、荞麦、青稞等前茬作物对植烟土壤养分与烤烟产质量的影响鲜见报道。并且,依据前茬作物探讨不施氮肥对烤烟生长和产质量的影响研究报道较少。因此,本试验结合昆明烟区烤烟种植实际和土壤肥力情况,以冬闲为对照,在不施氮肥的基础上,探讨小麦、大麦、玉米、苦荞、绿肥、青稞、萝卜等 7 种前茬作物对植烟土壤养分以及烤烟生长发育和产质量的影响,确保烤烟优质适产的同时,降低资源浪费并确定适宜的作物配置和完善以烤烟为主的种植制度,保护生态环境,增加烟农收益。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地块位于云南省昆明市宜良县竹山镇烤烟种植区,地理坐标 103°06'47"E、24°34'26"N,海拔 1 850 m。供试土壤为红壤, pH 5.60, 有机质 38.30 g/kg, 水解性氮 161.46 mg/kg, 有效磷 80.21 mg/kg, 速效钾 444.25 mg/kg。

1.2 试验设计

采用同田对比试验,以冬闲-烤烟为对照,共设置萝卜-烤烟、玉米-烤烟、苦荞-烤烟、小麦-烤烟、大麦-烤烟、青稞-烤烟、绿肥-烤烟 7 个前茬作物处理。每个处理随机区组排列,设置 3 次重复,共计 24 个小区,每小区面积 200 m²。2021 年 10 月 12 日开始分别撒播苦荞、小麦、大麦、青稞和绿肥,均不施肥;分别条播萝卜和玉米,且施肥量均为尿素 420 kg/hm²,并分 3 次施用,基肥占比 20%、第一次追肥占比 30%、第二次追肥占比 50%。2022 年 3 月陆续收获前茬作物后进行深耕晒垡,4 月 10 日绿肥进行还田。4 月 20 日移栽烤烟,品种为红花大金元,不施氮肥,磷钾肥施用量分别为 P₂O₅ 37.5 kg/hm²、K₂O 135 kg/hm²,其他管理措施按当地作物规范生产进行。

1.3 检测指标与测定方法

烤烟移栽时，每小区随机确定 3 个点，采集 0~20 cm 耕层土壤充分混匀，参照文献[14]测定前茬作物收获后的土壤养分。pH 采用电位法测定(水土质量比 2.5 : 1); 有机质测定采用重铬酸钾氧化法-外加热法; 水解氮测定采用碱解扩散法; 有效磷测定采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法; 速效钾测定采用 NH₄OAc 浸提-火焰光度法。

烤烟采收前，每个小区选取 5 株代表性烟株，按照行业标准 YC/T 142—2010《烟草农艺性状调查测量方法》^[15]测定烤烟农艺性状。主要指标包括烟株株高、茎围、有效叶片数、最大腰叶叶长和叶宽，并计算叶面积。

烟叶成熟时，按小区单独挂牌采收和烘烤，烤后烟叶按照国标 GB 2635—1992^[16]分级，统计产量，按昆明年度烟叶收购单价，计算产值、产指和级指。

烟叶样品为初烤后的下部、中部和上部烟叶，每个处理采集不同部位的烟叶样品各 1 kg，用于测定烟叶常规化学成分和评价烟叶感官质量。烟叶样品分成两份，一份采用烘箱法^[17]制备样品，分别对烟叶钾^[18]、水溶性糖^[19]、烟碱^[20]、总氮^[21]和氯^[22]进行检测; 一份由专家按照感官评价方法进行评吸，并对

烟叶香气质、香气量、杂气、浓度、刺激性、余味等指标进行打分。

1.4 数据统计与分析

采用 Excel 2010 进行数据处理，通过 SPSS 24.0 进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同前作处理对植烟土壤养分含量的影响

由表 1 可知，烤烟移栽前，不同前作处理的植烟土壤养分含量存在显著差异。与冬闲处理相比，萝卜、玉米、苦荞、小麦处理均显著降低了土壤 pH，绿肥与青稞处理土壤 pH 则分别提高了 0.02 和 0.16 个单位; 萝卜、玉米、苦荞、小麦处理不同幅度提高了土壤有机质含量，大麦、绿肥与青稞处理降低了土壤有机质含量; 同时萝卜、玉米处理土壤水解性氮含量分别显著提高 26.63% 和 32.06%; 萝卜、玉米、苦荞、小麦处理土壤有效磷含量显著提高 21.76%~36.72%; 大麦与青稞处理显著提高了土壤速效钾含量，增幅分别为 6.64% 和 4.44%。不同前作处理一定程度上改善了植烟土壤养分特性，尤其土壤有效磷与速效钾含量均较高，同时萝卜、秋玉米、绿肥及冬闲处理的土壤水解性氮较高，均可调控烤烟生长发育与烟叶品质。

表 1 不同前作处理对耕层土壤养分含量的影响
Table 1 Effects of different preceding crops on topsoil nutrients

前作处理	pH	有机质(g/kg)	水解性氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
冬闲	5.58 ± 1.04 a	42.69 ± 11.77 bc	178.04 ± 42.45 b	57.65 ± 36.49 c	459.20 ± 131.52 b
萝卜	4.98 ± 0.77 b	46.76 ± 17.92 b	225.46 ± 46.41 a	78.82 ± 40.50 a	424.70 ± 147.29 c
玉米	4.84 ± 0.83 b	48.51 ± 13.29 b	235.13 ± 42.88 a	70.59 ± 27.29 b	411.10 ± 172.63 d
苦荞	4.99 ± 0.90 b	55.38 ± 9.43 a	129.65 ± 32.62 c	70.20 ± 31.82 b	433.50 ± 150.18 c
小麦	5.12 ± 0.82 b	47.45 ± 12.53 b	109.01 ± 40.67 d	78.82 ± 50.01 a	449.30 ± 181.07 b
大麦	5.39 ± 0.94 ab	41.42 ± 11.03 bc	130.30 ± 34.51 c	60.78 ± 30.60 c	489.70 ± 122.45 a
绿肥	5.60 ± 0.91 a	37.93 ± 10.16 c	162.56 ± 39.22 b	57.65 ± 24.52 c	422.60 ± 193.12 c
青稞	5.74 ± 0.95 a	40.02 ± 10.47 bc	127.78 ± 37.15 c	65.10 ± 34.28 bc	479.60 ± 125.63 a

注：同列数据小写字母不同表示处理间差异达 $P<0.05$ 显著水平，下表同。

2.2 不同前作处理对烤烟农艺性状的影响

由表 2 可知，烤烟移栽封顶后 3 d，不同前作处理的烤烟农艺性状存在显著差异($P<0.05$)。与冬闲处理的有效叶片数 18.05 片/株相比，前作玉米处理显著增加了烤烟有效叶片数，达到 20.85 片/株，即每株增加有效叶片数 2~3 片; 其他处理无显著差异，有效叶片数为 16.60~20.00 片/株。前作萝卜、玉米、苦荞处理显著提高了烤烟打顶后株高，株高范围为 115.40~117.80 cm，分别比冬闲处理提高 26.80%、24.22%、26.59%; 小麦、绿肥、青稞处理株高稍高

于冬闲处理，增加幅度为 5.27%~11.14%; 而大麦处理株高仅 81.90 cm，稍低于冬闲处理，但小麦、绿肥、青稞、大麦与冬闲处理间均无显著差异。大麦处理的烤烟茎围与最大腰叶长显著低于冬闲处理，降幅分别为 7.96% 和 18.16%，其他处理与冬闲处理无显著差异。从不同前作处理烤烟的农艺性状看，除大麦处理田间农艺性状稍差外，其他前作处理烤烟田间长势均较好，尤其是玉米处理，与冬闲处理相比，显著提高了烤烟打顶后株高以及有效叶片数，可提高田间烤烟的农艺性状，田间长势较优。

表 2 不同前作处理对烤烟农艺性状的影响
Table 2 Effects of different preceding crops on agronomic traits of flue-cured tobacco

前作处理	有效叶数(片/株)	打顶株高(cm)	茎围(cm)	最大腰叶长(cm)	最大腰叶宽(cm)
冬闲	18.05 ± 1.55 bc	92.90 ± 7.50 bc	12.55 ± 0.25 a	79.90 ± 0.50 a	32.45 ± 1.15 ab
萝卜	18.15 ± 1.05 bc	117.80 ± 14.6 a	13.55 ± 1.05 a	75.20 ± 4.90 ab	30.10 ± 3.30 b
玉米	20.85 ± 0.65 a	115.40 ± 5.30 a	12.65 ± 0.05 a	76.30 ± 1.10 a	33.55 ± 2.75 ab
苦荞	20.00 ± 0.60 ab	117.60 ± 4.70 a	12.80 ± 0.30 a	71.95 ± 7.15 ab	32.10 ± 0.40 ab
小麦	18.15 ± 0.55 bc	103.25 ± 2.45 ab	13.55 ± 0.65 a	76.85 ± 3.45 a	32.20 ± 4.10 ab
大麦	16.60 ± 1.00 c	81.90 ± 11.50 c	11.15 ± 1.65 b	65.45 ± 5.05 b	28.75 ± 2.45 b
绿肥	17.70 ± 1.60 c	100.10 ± 1.40 b	12.35 ± 0.05 ab	72.00 ± 9.30 ab	31.45 ± 1.95 ab
青稞	18.05 ± 0.75 bc	97.80 ± 5.30 b	12.75 ± 0.15 a	72.25 ± 7.05 ab	36.30 ± 5.10 a

2.3 不同前作处理对烤烟经济性状的影响

由表 3 可知,不同前作处理的烤烟经济性状存在显著差异($P<0.05$)。与冬闲处理相比,绿肥处理上等烟比例略提高,苦荞、小麦和青稞处理上等烟比例显著降低,而萝卜、玉米、大麦处理的上等烟比例则略有降低。同时,绿肥、苦荞处理的中上等烟比例显著高于冬闲处理,小麦处理则显著低于冬闲处理,其他处理与冬闲无显著差异。不同前作处理烤烟产量从高到低依次为青稞>冬闲>大麦>小麦>绿肥>玉米>萝卜>苦荞,各处理产量达到 1 981.50 ~ 2 294.25 kg/hm²;大麦、小麦与绿肥处理无显著差异,青稞、大麦、小麦与冬闲处理无显著差异,但青稞、冬闲、大麦、小麦处理显著高于萝卜、玉米、苦荞处理,且萝卜、玉米和苦荞处理的烤烟产量仅为 1 981.50 ~ 2 088.00 kg/hm²。大麦、小麦处理的烤

烟产值显著高于冬闲、玉米、绿肥、青稞与萝卜处理,且与苦荞处理无显著差异,同时大麦与小麦处理的烤烟产值分别比冬闲处理增加了 14.11% 和 17.03%;冬闲处理烤烟产值显著高于萝卜处理,但与玉米、绿肥、青稞和苦荞处理无显著差异;不同前作处理烤烟产值从高到低依次为小麦>大麦>苦荞>绿肥>玉米>青稞>冬闲>萝卜。不同前作处理烤烟级指从高到低依次为苦荞>小麦>大麦>玉米>绿肥>青稞>冬闲>萝卜,苦荞、小麦、大麦、玉米、绿肥处理的烤烟级指显著高于冬闲处理,青稞、萝卜、冬闲处理间无显著差异,但青稞处理显著高于萝卜处理。从烤烟经济性状看,绿肥前作有利于提高中上等烟与上等烟比例,小麦、大麦和青稞等禾本科作物前作有利于提高烤烟产量、产值,尤其小麦和大麦前作提高烤烟产指与级指。

表 3 不同前作处理对烤烟经济性状的影响
Table 3 Effects of different preceding crops on economic traits of flue-cured tobacco

前作处理	上等烟比例(%)	中上等烟比例(%)	产量(kg/hm ²)	产值(元/hm ²)	产指	级指×100
冬闲	57.83 ± 0.34 a	89.57 ± 0.76 c	2 292.00 ± 1.70 a	60 532.80 ± 72.70 b	70.79 ± 1.27 b	46.35 ± 1.35 cd
萝卜	55.43 ± 2.38 abc	90.91 ± 0.37 bc	2 050.50 ± 1.40 c	50 898.15 ± 134.74 c	59.53 ± 2.36 c	43.57 ± 2.19 d
玉米	55.99 ± 0.94 abc	90.83 ± 0.42 bc	2 088.00 ± 7.20 c	63 215.40 ± 84.35 b	73.94 ± 1.48 b	53.21 ± 1.69 b
苦荞	53.26 ± 0.45 bc	93.20 ± 0.96 a	1 981.50 ± 7.80 c	65 446.80 ± 36.92 ab	76.54 ± 0.64 b	58.13 ± 2.94 a
小麦	53.47 ± 0.64 bc	85.66 ± 0.32 d	2 234.25 ± 2.35 ab	70 842.30 ± 93.47 a	82.86 ± 1.64 a	55.63 ± 0.22 ab
大麦	56.86 ± 5.06 abc	89.09 ± 1.67 c	2 247.75 ± 2.05 ab	69 072.45 ± 287.62 a	80.78 ± 5.04 ab	53.88 ± 2.63 b
绿肥	58.31 ± 0.94 a	92.63 ± 0.92 ab	2 122.50 ± 7.20 bc	64 039.20 ± 31.76 b	74.90 ± 0.56 b	53.05 ± 2.31 b
青稞	52.18 ± 0.82 c	90.75 ± 2.3 bc	2 294.25 ± 5.25 a	62 952.45 ± 318.40 b	73.62 ± 5.58 b	48.07 ± 2.00 c

2.4 不同前作处理对烤烟化学成分的影响

由表 4 可知,不同前作处理对上部、中部和下部初烤烟叶的化学成分具有显著影响($P<0.05$)。从上部烟叶分析,不同前作处理的烤烟总糖和还原糖含量分别为 15.46% ~ 34.75% 和 8.58% ~ 22.70%,总糖含量从大到小依次为绿肥>萝卜>冬闲>玉米>苦荞>青稞>大麦>小麦,还原糖含量从大到小依次为玉米>绿肥>苦荞>萝卜>冬闲>青稞>小麦>大麦。与冬闲处理相

比,绿肥前作显著提高上部烟叶总糖和还原糖含量,分别提高了 11.77% 和 12.27%;小麦、大麦处理显著降低上部烟叶总糖和还原糖含量,降幅分别达到了 48.28%、50.27% 和 47.03%、55.75%,其他处理与冬闲处理无显著差异。不同前作处理的烤烟总氮和烟碱含量分别为 1.66% ~ 2.98% 和 2.71% ~ 6.04%,总氮含量从大到小依次为小麦>青稞>冬闲>玉米>苦荞>绿肥>萝卜,烟碱含量从大到小依次为小麦>大

麦>青稞>绿肥>冬闲>萝卜>玉米>苦荞；小麦、大麦、青稞处理与冬闲处理相比显著提高烟叶总氮含量，且小麦与大麦处理显著提高烟叶烟碱含量。不同前作处理的烤烟氧化钾和氯离子含量分别为 1.94% ~ 3.54% 和 0.05% ~ 0.22%，氧化钾含量从大到小依次为大麦>

小麦>青稞>冬闲>萝卜>绿肥>苦荞>玉米，氯离子含量从大到小依次为小麦>大麦>苦荞>萝卜>青稞>玉米>冬闲>绿肥，且小麦和大麦处理与冬闲处理相比显著提高烟叶钾与氯含量，其他处理与冬闲无显著差异。

表 4 不同前作处理对烟叶化学成分的影响
Table 4 Effects of different preceding crops on chemical components of flue-cured tobacco leaves

部位	前作处理	总糖(%)	还原糖(%)	总氮(%)	烟碱(%)	氧化钾(%)	氯离子(%)
上部	冬闲	31.09 ± 2.51 bc	19.39 ± 1.91 bc	1.75 ± 0.23 c	2.98 ± 0.13 c	2.30 ± 0.34 c	0.05 ± 0.01 c
	萝卜	34.12 ± 0.58 ab	20.52 ± 0.10 ab	1.66 ± 0.08 c	2.89 ± 0.01 c	2.25 ± 0.26 c	0.07 ± 0.01 c
	玉米	29.85 ± 0.17 c	22.70 ± 0.07 a	1.71 ± 0.02 c	2.74 ± 0.02 c	1.94 ± 0.11 c	0.06 ± 0.01 c
	苦荞	28.92 ± 1.31 c	21.09 ± 0.84 ab	1.70 ± 0.03 c	2.71 ± 0.04 c	2.02 ± 0.05 c	0.08 ± 0.01 c
	小麦	15.46 ± 0.18 d	10.27 ± 0.68 d	2.97 ± 0.01 a	6.04 ± 0.20 a	3.00 ± 0.25 b	0.22 ± 0.02 a
	大麦	16.08 ± 2.52 d	8.58 ± 0.34 d	2.98 ± 0.18 a	4.90 ± 1.43 b	3.54 ± 0.26 a	0.13 ± 0.05 b
	绿肥	34.75 ± 2.43 a	21.77 ± 1.61 a	1.67 ± 0.05 c	2.99 ± 0.10 c	2.15 ± 0.15 c	0.05 ± 0.01 c
中部	青稞	28.82 ± 2.46 c	17.73 ± 1.42 c	1.95 ± 0.02 b	3.78 ± 0.01 c	2.55 ± 0.04 c	0.07 ± 0.05 c
	冬闲	19.29 ± 1.18 b	14.70 ± 1.14 b	2.07 ± 0.31 bc	4.66 ± 0.02 a	2.57 ± 0.22 bc	0.11 ± 0.03 ab
	萝卜	26.98 ± 1.09 a	20.22 ± 0.93 a	1.98 ± 0.12 c	3.25 ± 0.13 bc	2.49 ± 0.18 c	0.15 ± 0.01 a
	玉米	23.62 ± 6.40 ab	16.03 ± 5.75 ab	2.22 ± 0.18 abc	2.59 ± 0.05 c	3.30 ± 0.28 a	0.07 ± 0.01 b
	苦荞	21.40 ± 1.10 ab	17.02 ± 0.27 ab	2.35 ± 0.03 ab	4.05 ± 0.14 ab	2.76 ± 0.16 bc	0.09 ± 0.00 ab
	小麦	24.04 ± 1.00 ab	18.56 ± 0.01 ab	2.09 ± 0.03 bc	3.14 ± 0.93 bc	3.07 ± 0.51 ab	0.10 ± 0.03 ab
	大麦	21.73 ± 3.95 ab	17.55 ± 2.21 ab	2.29 ± 0.27 abc	4.23 ± 0.65 a	2.89 ± 0.06 abc	0.12 ± 0.01 ab
下部	绿肥	18.40 ± 0.01 ab	14.50 ± 1.85 b	2.49 ± 0.04 a	4.48 ± 0.33 a	2.68 ± 0.22 bc	0.12 ± 0.01 ab
	青稞	24.38 ± 4.23 b	16.78 ± 1.63 ab	2.11 ± 0.21 bc	3.41 ± 1.00 bc	2.88 ± 0.22 abc	0.12 ± 0.07 ab
	冬闲	21.80 ± 0.90 d	17.93 ± 1.55 c	2.31 ± 0.18 a	3.28 ± 0.55 a	2.93 ± 0.30 ab	0.15 ± 0.07 ab
	萝卜	36.55 ± 0.96 a	27.68 ± 4.47 a	1.34 ± 0.02 c	2.04 ± 0.34 c	2.27 ± 0.05 c	0.12 ± 0.05 ab
	玉米	29.62 ± 2.81 c	17.42 ± 1.47 c	1.68 ± 0.07 b	1.88 ± 0.26 c	3.18 ± 0.14 a	0.06 ± 0.00 b
	苦荞	31.99 ± 3.34 bc	20.77 ± 0.72 c	1.63 ± 0.29 b	2.52 ± 0.37 bc	2.69 ± 0.18 b	0.10 ± 0.03 b
	小麦	31.49 ± 1.46 bc	23.71 ± 1.04 b	1.58 ± 0.04 bc	2.75 ± 0.13 ab	2.74 ± 0.32 b	0.21 ± 0.11 ab
	大麦	31.86 ± 0.27 bc	25.87 ± 2.99 b	1.67 ± 0.12 b	2.70 ± 0.37 ab	2.95 ± 0.17 ab	0.17 ± 0.08 ab
	绿肥	28.26 ± 4.00 c	24.16 ± 6.10 b	1.74 ± 0.10 b	2.88 ± 0.38 ab	2.82 ± 0.30 ab	0.11 ± 0.00 ab
	青稞	34.36 ± 0.90 ab	31.64 ± 0.84 a	1.51 ± 0.04 bc	2.31 ± 0.18 bc	3.10 ± 0.07 ab	0.28 ± 0.19 a

从中部烟叶分析,不同前作处理的烤烟总糖和还原糖含量分别为 18.40% ~ 26.98% 和 14.50% ~ 20.22%，总糖含量从大到小依次为萝卜>青稞>小麦>玉米>大麦>苦荞>冬闲>绿肥，还原糖含量从大到小依次为萝卜>小麦>大麦>苦荞>青稞>玉米>冬闲>绿肥。与冬闲处理相比，萝卜处理显著提高烟叶总糖和还原糖含量，提高幅度达到 39.86% 和 37.55%；其他处理与冬闲无显著差异。不同前作处理的烤烟总氮和烟碱含量分别为 1.98% ~ 2.49% 和 2.59% ~ 4.66%，总氮含量从大到小依次为绿肥>苦荞>大麦>玉米>青稞>小麦>冬闲>萝卜，烟碱含量从大到小依次为冬闲>绿肥>大麦>苦荞>青稞>萝卜>小麦>玉米。与冬闲处理相比，绿肥处理显著提高总氮含量，其他

处理无显著差异；萝卜、玉米、小麦和青稞处理显著降低烟叶烟碱含量，其他处理与冬闲无显著差异。不同前作处理的烤烟氧化钾和氯离子含量分别为 2.49% ~ 3.30% 和 0.07% ~ 0.15%，氧化钾含量从大到小依次为玉米>小麦>大麦>青稞>苦荞>绿肥>冬闲>萝卜，氯离子含量从大到小依次为萝卜>大麦、绿肥、青稞>冬闲>小麦>苦荞>玉米。与冬闲处理相比，玉米处理显著提高烟叶钾含量，增幅达 28.40%；各前作处理与冬闲的烟叶氯含量均无显著差异。

从下部烟叶看,不同前作处理的烤烟总糖和还原糖含量分别为 21.80% ~ 36.55% 和 17.42% ~ 31.64%，总糖含量从大到小依次为萝卜>青稞>苦荞>大麦>小麦>玉米>绿肥>冬闲，还原糖含量从大到小

依次为青稞>萝卜>大麦>绿肥>小麦>苦荞>冬闲>玉米。与冬闲处理相比,不同前作处理均显著提高烟叶总糖含量,萝卜、青稞提高幅度最大,分别提高了67.66%和57.61%;其次为苦荞、小麦和大麦处理,再是玉米和绿肥处理。同时除玉米和苦荞处理外,萝卜、小麦、大麦、绿肥和青稞处理的烟叶还原糖含量显著高于冬闲。不同前作处理的烤烟总氮和烟碱含量分别为1.34%~2.31%和1.88%~3.28%,总氮含量从大到小依次为冬闲>绿肥>玉米>大麦>苦荞>小麦>青稞>萝卜,烟碱含量从大到小依次为冬闲>绿肥>小麦>大麦>苦荞>青稞>萝卜>玉米。各前作处理显著降低烟叶总氮含量,萝卜、玉米、苦荞和青稞处理显著降低烟叶烟碱含量,其中萝卜处理降低幅度较大,降低幅度分别达到了41.99%和37.80%。同时,不同前作处理的烤烟氧化钾和氯离子含量分别为2.27%~3.18%和0.06%~0.28%,氧化钾含量从大到小依次为玉米>青稞>大麦>冬闲>绿肥>小麦>苦荞>萝卜,氯离子含量从大到小依次为青稞>小麦>大麦>冬闲>萝卜>绿肥>苦荞>玉米,且玉米、青稞和大麦处理比冬闲处理提高了烟叶钾含量,但未达到显著差异。

从烟叶化学成分看,不同前茬作物对烤烟化学成分影响不一致。整体上,萝卜和青稞前茬有利于提高烟叶总糖、还原糖含量,降低烟叶总氮与烟碱含量;大麦和青稞前茬有利于提高烟叶钾含量。

2.5 不同前作处理对烤烟感官质量的影响

烟叶感官质量评吸主要对中部烟叶风格特征和品质特征进行评价。由表5可知,从烟叶风格特征看,与冬闲处理相比,青稞前作处理的烟叶清甜香提高幅

度最大,其次是萝卜,大麦处理与冬闲相当;苦荞与小麦处理提高了烟叶焦甜香;萝卜、苦荞、小麦、大麦、青稞处理与冬闲处理的烟叶干草香风格相当,但绿肥、玉米处理降低烟叶干草香韵;不同处理的焦香风格较一致。从香气特性分析,与冬闲处理相比,萝卜、青稞处理增加烟叶愉悦性,其他处理则降低;萝卜处理增加烟叶细腻度,其他处理与冬闲处理相当;萝卜、青稞处理增加烟叶圆润性,其他处理相当;萝卜、玉米、青稞处理烟叶绵延感与冬闲相当,其他处理则降低了烟叶绵延感;同时萝卜、青稞处理增加烟叶香气量,玉米处理相当,其他处理则降低烟叶香气量。从烟气特性看,与冬闲处理相比,萝卜和青稞处理降低烟气浓度,玉米处理与冬闲相当,其他处理增加了烟气浓度;同时萝卜处理降低烟叶刺激性,玉米、大麦、绿肥处理与冬闲相当,其他处理增加烟叶刺激性;萝卜、青稞处理降低烟叶劲头,玉米、大麦、绿肥处理与冬闲相当,其他处理增加烟叶劲头;萝卜、大麦处理烟叶杂气与冬闲处理相当,其他处理则增加烟叶杂气;萝卜和青稞处理有利于改善烟气特性,尤其萝卜处理除可降低烟叶浓度、劲头外,还可降低烟叶杂气与刺激性,起到降刺除杂的作用。从口感特性看,与冬闲处理相比,萝卜处理提高烟叶干净度,玉米、小麦与冬闲相当,其他处理降低了烟叶干净度;萝卜、小麦、大麦和青稞处理与冬闲的烟叶津润感和回味相当,其他处理降低烟叶的浸润感。整体上对于烟叶感官质量评价,萝卜、青稞处理有利于提高烟叶清甜香韵,增加烟叶香气质和香气量,降低烟叶刺激性和杂气。

表 5 不同前作处理对烟叶感官质量的影响
Table 5 Effects of different preceding crops on sensory quality of flue-cured tobacco leaves

前作 处理	风格特征				品质特征											
	香韵				香气特性				烟气特性				口感特性			
					香气质				香气量	浓度	刺激性	劲头	杂气	干净度	津润感	回味
清甜香	焦甜香	干草香	焦香	愉悦性	细腻度	圆润性	绵延感									
	(5)	(5)	(5)	(5)	(10)	(5)	(5)	(5)	(15)	(10)	(15)	(5)	(10)	(10)	(5)	(5)
冬闲	3	0.5-	1.5	0.5	6.5	3	3-	3	11-	7-	11	5	7-	7-	3	3
萝卜	3.5	0.5-	1.5	0.5	6.5+	3+	3	3	11	7	11+	5+	7-	7	3	3
玉米	3-	0.5-	1.5-	0.5	6.5-	3	3-	3	11-	7-	11	5	6.5+	7-	3-	3-
苦荞	3-	0.5	1.5	0.5	6.5-	3	3-	3-	10.5+	6.5+	11-	5-	6.5	6.5+	3-	3-
小麦	3-	0.5	1.5	0.5	6.5-	3	3-	3-	10.5+	6.5	11-	4.5+	6.5	7-	3	3
大麦	3	0.5-	1.5	0.5	6.5	3	3-	3-	10.5	6.5+	11	5	7-	6.5+	3	3
绿肥	3-	0.5-	1.0	0.5	6.5-	3	3-	3-	10.5	6.5	11	5	6.5-	6.5+	3-	3-
青稞	3.5+	0.5-	1.5	0.5	6.5+	3	3	3	11	7	11-	5+	6.5+	6.5+	3	3

注:表中数值表示烟叶感官质量评吸分值;数值后“+”、“-”代表评分之间的细微差异,“+”表示评分更趋向大于该分值,“-”表示评分更趋向小于该分值。

3 讨论

土壤养分状况能更全面和更直接地反映土壤特性,并指导烤烟生产施肥,保证烟叶的产量与质量。研究表明随着烤烟种植年限的增加与高强度利用土壤,导致强酸性土壤频度增加,有机质含量降低,影响土壤质量^[2,23]。前人研究报道不同前茬作物种植能使土壤养分收支趋于平衡,不同程度改变土壤质量,提高作物产质量^[24]。本文研究发现与冬闲相比,种植不同前茬作物对土壤养分影响不一致,种植绿肥和青稞提高了土壤 pH。这与郭芳阳等^[25]研究结果相似,前茬为大豆、花生、绿肥等均提高了土壤 pH。同时张立成等^[26]、杨文远等^[27]、张占琴等^[28]研究发现前茬种植油菜类作物降低土壤 pH,但是提高土壤有机质、有效磷等含量,改善土壤肥力。而王俊等^[29]报道玉米作为烤烟前茬作物降低土壤有机质含量。本文研究结果表明,萝卜、玉米、苦荞和小麦等前茬作物提高了土壤有机质含量。不同前茬作物对土壤养分有不同的选择性吸收,这可能是由于不同前茬作物残留的根际分泌物和微生物会引起土壤养分组成的改变。赵文军等^[30]报道萝卜前茬处理增加土壤硝态氮含量以及相关水解酶活性,提高烟田土壤质量,从而增加烤烟产量和改善烟叶品质。王仕海等^[31]研究指出,绿肥还田影响土壤中微生物代谢活性,进而影响土壤磷酸酶活性和有机酸活性,从而提高土壤有效磷含量。王亚麒等^[32]研究发现,长期烤烟-玉米轮作可提高土壤无机磷含量。本研究发现萝卜和玉米前作土壤水解性氮含量分别提高 26.63% 和 32.06%,且萝卜、玉米、小麦、大麦、绿肥、青稞、苦荞等作为前茬均提高了土壤有效磷含量,这与前人的研究结果较相似。同时本文进一步研究发现,青稞前作的植烟土壤速效钾含量较高,且水解性氮含量适宜,便于调控烤烟田间生长发育,促进成熟落黄,提高烟叶产质量。因此,不同前茬作物对土壤养分影响不同,应根据当地土壤养分特性,选择适宜的前茬作物,改良土壤理化特性,保护植烟土壤和提高作物产质量。

土壤养分供给直接影响烤烟生长发育,并决定烟叶的产质量表现。不同前茬作物通过影响土壤环境差异进一步影响着烤烟生长发育与品质^[33]。研究表明,前茬作物不同,烤烟的田间长势、成熟度、产值与产量均有一定程度的影响^[34]。前茬为空闲休耕时,烤烟钾含量明显偏低^[10];而前茬种植玉米,烤烟的最大叶长、最大叶宽较大,能一定程度上提高红花大金

元的生长发育,提高烟叶产质量^[35]。尤其前茬种植油菜和水稻能够促进烤烟生长,改善化学成分协调性,而种植玉米则会抑制化学成分协调性^[36]。同时前茬种植小麦的烤烟总糖、烟碱、钾含量偏低;而前茬种植绿肥提高烟叶糖、钾等含量^[9]。本文研究结果发现,前茬种植玉米、萝卜、苦荞可促进烤烟田间生长发育,而种植小麦、大麦和青稞可提高烟叶产量、产值、总糖、还原糖含量,并协调烟叶化学成分,同时萝卜和青稞前茬提高烟叶感官评吸质量。这可能与不同前茬作物的土壤质量相关,青稞前茬提高了土壤速效钾含量,而土壤速效钾含量增加可显著提升烟叶清甜香和香气量^[37]。不同前茬作物对烟叶产量、化学成分和感官质量的影响不同,选择适宜的前茬作物,有利于提高当地烤烟品种的烟叶产质量,保障烟叶生产的可持续发展。

综合前人关于不同前茬作物对土壤和烤烟品质的影响研究报道,整体上前茬作物为绿肥时提高土壤 pH、有效磷含量和烟叶糖与钾含量^[9,25,31];前作为油菜会降低植烟土壤 pH,但提高土壤有机质和有效磷含量,促进烤烟生长,改善烟叶化学成分^[17-19];前作为玉米则降低土壤有机质含量,但提高烤烟农艺性状,而抑制化学成分协调性^[29,35];前作为萝卜提高植烟土壤硝态氮含量^[30];前作为冬闲会降低烟叶钾含量^[10];前作为小麦则降低了烟叶总糖和钾含量^[9]。结合本文的研究结果表明,前作为绿肥提高植烟土壤 pH、水解性氮、有效磷含量以及烤烟的中上等烟比例;前作为玉米、萝卜显著提高烤烟株高,且萝卜有利于提高烟叶糖含量和改善烟叶感官质量,但是萝卜前作的烤烟产值量较低;前作为小麦、大麦、青稞和苦荞等禾本科作物可提高土壤有效磷含量,且大麦与青稞前作还能提高土壤速效钾含量,并显著提高烤烟产量和产值,提升烟叶钾含量,青稞前作则能提高烟叶总糖、还原糖含量,增加烟叶香气质和香气量、改善烟叶清甜香韵和降低烟叶刺激性和杂气。因此,根据前人研究报道以及本文的研究结果,推荐烤烟适宜的前茬作物主要为青稞,可提高土壤有效磷和有效钾含量以及烤烟产量和产值,增加烟叶糖含量和钾含量,改善烟叶感官评吸质量。

4 结论

1) 与冬闲处理相比,绿肥与青稞前作提高植烟土壤 pH,萝卜和玉米前作提高土壤水解性氮含量,各前作处理均提高土壤有效磷含量,大麦与青稞前作提高了土壤速效钾含量。

2) 不同前作处理的烤烟农艺性状与经济性状存在显著性差异, 玉米前作显著增加烤烟有效叶片数, 萝卜、玉米、苦荞前作显著提高了烤烟株高, 绿肥前作提高中上等烟与上等烟比例, 小麦、大麦和青稞前作提高烤烟产值。

3) 不同前作处理的烟叶化学成分存在显著性差异, 萝卜和青稞前作显著提高烟叶总糖、还原糖含量, 显著降低烟叶总氮与烟碱含量; 玉米、大麦和青稞前作有利于提高烟叶钾含量。

4) 萝卜、青稞前作有利于提高烟叶清甜香韵, 增加烟叶香气质和香气量, 降低烟叶刺激性和杂气。

5) 根据不同前作对植烟土壤、烤烟农艺性状、经济性状、化学成分和感官质量的影响, 推荐烤烟适宜的前茬作物主要为青稞, 能够改善土壤有效磷和有效钾含量, 提高烤烟产量和产值, 增加烟叶糖含量和钾含量, 改善烟叶感官评吸质量。

参考文献:

- [1] 程浩, 孙福山, 翟所亮, 等. 特色烤烟品种红花大金元烟叶质量的影响因素分析[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(2): 21–25.
- [2] 梁文举, 董元华, 李英滨, 等. 土壤健康的生物学表征与调控[J]. 应用生态学报, 2021, 32(2): 719–728.
- [3] 梁永进, 朱睿璇, 韦贝蕾, 等. 有机肥配施对我国烟叶品质影响的整合分析[J]. 中国农业科技导报, 2024, 26(12): 164–175.
- [4] 余小芬, 杨树明, 邹炳礼, 等. 菜籽油枯有机无机复混肥对烤烟产质量及养分利用率的影响[J]. 土壤学报, 2020, 57(6): 1564–1574.
- [5] 李学才, 马骊, 武军艳, 等. 西北黄土区主要作物茬口对土壤理化性质和冬油菜农艺性状的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2022, 40(6): 185–191, 200.
- [6] 刘枫, 赵正雄, 李忠环, 等. 不同前茬作物条件下烤烟氮磷钾养分平衡[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2622–2626.
- [7] 段玉琪, 胡小东, 晏飞, 等. 不同前作对紫色植烟土壤微生物数量、养分及烤烟产质量的影响[J]. 河南农业科学, 2017, 46(10): 54–59.
- [8] 嵇其翠, 宋文静, 董建新, 等. 不同前作对烟田土壤养分、酶活性及烤烟生长的影响[J]. 中国烟草科学, 2018, 39(1): 64–71.
- [9] 刘浩, 周冀衡, 张毅, 等. 不同土壤类型前茬作物对烤烟化学成分和品质的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2015, 41(5): 491–495.
- [10] 王斌, 周冀衡, 李强, 等. 不同前茬对麒麟烟区烤烟化学成分及协调性的影响[J]. 南方农业学报, 2013, 44(4): 566–569.
- [11] 徐照丽, 杨宇虹. 不同前作对烤烟氮肥效应的影响[J]. 生态学杂志, 2008, 27(11): 1926–1931.
- [12] 彭云, 赵正雄, 李忠环, 等. 不同前茬对烤烟生长、产量和质量的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(2): 335–340.
- [13] 段四喜, 聂吉梅, 刘燕, 等. 减施肥料对不同前茬烤烟生长和产质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(5): 19–25.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] 国家烟草专卖局. 烟草农艺性状调查测量方法: YC/T 142—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [16] 国家技术监督局. 烤烟: GB 2635—1992[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992.
- [17] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 试样的制备和水分测定 烘箱法: YC/T 31—1996[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [18] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 钾的测定 连续流动法: YC/T 217—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [19] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 水溶性糖的测定 连续流动法: YC/T 159—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [20] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 总植物碱的测定 连续流动法: YC/T 160—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [21] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 总氮的测定连续流动法: YC/T 161—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [22] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 氯的测定连续流动法: YC/T 162—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [23] 徐兴阳, 邱学礼, 杨树明, 等. 昆明烟区植烟土壤 pH 与中微量元素时空变异性研究[J]. 土壤, 2023, 55(4): 887–893.
- [24] 李新如, 谢晏芬, 朱宣全, 等. 不同前作植烟土壤质量评价及其与烟叶质量的相关性研究[J]. 作物杂志, 2024(5): 167–174.
- [25] 郭芳阳, 吴照辉, 阎小毛, 等. 不同轮作模式对烤烟前茬土壤养分、根系活力及烟叶质量的影响[J]. 河南农业科学, 2017, 46(5): 45–50.
- [26] 张立成, 邵继海, 林毅青, 等. 稻-稻-油菜轮作对土壤微生物活性和多样性的影响[J]. 生态环境学报, 2017, 26(2): 204–210.
- [27] 杨文元, 李腾飞, 董博, 等. 播量对麦后复种油菜生物产量及耕层土壤养分的影响[J]. 西北农业学报, 2017, 26(4): 583–587.
- [28] 张占琴, 张力, 田海燕, 等. 不同前茬作物对小麦田土壤养分及小麦光合性能的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2022, 40(1): 30–41.
- [29] 王俊, 刘文兆, 李凤民. 半干旱区不同作物与苜蓿轮作对土壤水分恢复与肥力消耗的影响[J]. 土壤学报, 2007, 44(1): 179–183.

- [30] 赵文军, 刘蕊, 王正旭, 等. 烤烟-绿肥轮作对云南烟田土壤质量与微生物养分限制的影响[J]. 草业学报, 2024, 33(10): 147–158.
- [31] 王仕海, 尚军, 汤红印, 等. 不同绿肥腐解对烟田土壤有效磷含量影响的微生物机制[J]. 土壤, 2024, 56(4): 769–775.
- [32] 王亚麒, 刘京, 苟剑渝, 等. 长期有机无机配施下烤烟-玉米轮作优化土壤微生物活化无机磷[J]. 土壤学报, 2022, 59(3): 808–818.
- [33] 肖金香, 刘正和, 王燕, 等. 气候生态因素对烤烟产量与品质的影响及植烟措施研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(4): 163–165.
- [34] 毛倪寿, 杨宇虹, 晋艳, 等. 前作的根际物质及根际微生物对烤烟生长的影响研究[J]. 烟草科技, 2002, 35(5): 38–39.
- [35] 赵明香, 张俊, 赵珍华, 等. 不同前茬作物对烟草红花大金元生长发育及产质量的影响[J]. 浙江农业科学, 2023, 64(11): 2629–2632.
- [36] 刘优雄. 不同前作和肥料调控对烤烟产质量及主要化学成分影响的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2011.
- [37] 潘金华, 王美艳, 史学正, 等. 玉溪烟区土壤钾镁交互作用对烤烟化学及感官品质的影响[J]. 土壤, 2022, 54(3): 490–497.