

张鲁民,宋文峰,周磊,等.不同耕作方式对土壤速效养分和烟株碳氮代谢的影响[J].山西农业科学,2025,53(4):20-27.
ZHANG L M, SONG W F, ZHOU L, et al. Effects of different tillage practices on soil available nutrient and carbon and nitrogen metabolism of flue-cured tobacco[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(4):20-27.

doi:10.26942/j.cnki.issn.1002-2481.2025.04.03

不同耕作方式对土壤速效养分和烟株碳氮代谢的影响

张鲁民^{1,2}, 宋文峰¹, 周磊¹, 吕亚媚¹, 李艳¹, 吕凯², 欧阳铖人²

(1. 云南省烟草公司红河州公司技术中心, 云南红河 652300; 2. 云南农业大学烟草学院, 云南昆明 650201)

摘要:耕作方式通过改变烟田烟株生长微环境而影响烟株生长。为探究山地植烟区不同耕作方式对烟株生长和烟叶产值的影响,以烤烟K326为试验材料,分析了宽垄处理(WR)、宽窄行处理(WNR)、常规处理(CK)不同耕作方式下烟株农艺性状、烟叶碳氮代谢酶活性、烟叶产量及土壤养分变化特征。结果表明,与CK相比,WR、WNR处理的确态氮含量分别增加21.98%、58.72%,铵态氮含量分别增加5.79%、40.54%,速效磷含量分别增加24.95%、16.47%,速效钾含量分别降低29.29%、20.54%;WNR处理的确态氮、铵态氮含量分别比WR处理增加了30.12%、32.84%,但速效钾和速效磷含量与WR处理间差异不显著。WR、WNR处理的硝酸还原酶(NR)和蔗糖合成酶(SS)活性显著高于CK处理,WR处理的烟叶谷氨酰胺合成酶(GS)和 α -淀粉酶(α -AL)活性显著高于WNR、CK处理。与CK相比,WR、WNR处理的产量分别增加5.65%、4.23%,产值分别增加10.26%、6.89%,表明WR、WNR处理可以改善烟株的农艺性状。综上,宽垄种植方式不仅增加了土壤养分的有效性,促进烟株生长;而且增加了烟叶的碳氮代谢酶活性,促进了烟叶产量、产值的提高。

关键词:烤烟;宽垄;土壤速效养分;碳氮代谢;农艺性状;产量

中图分类号:S572

文献标识码:A

文章编号:1002-2481(2025)04-0020-08

Effects of Different Tillage Practices on Soil Available Nutrient and Carbon and Nitrogen Metabolism of Flue-Cured Tobacco

ZHANG Lumin^{1,2}, SONG Wenfeng¹, ZHOU Lei¹, LÜ Yamei¹,

LI Yan¹, LÜ Kai², OUYANG Chengren²

(1. Honghe Branch Company Technology Centre, Yunnan Tobacco Company, Honghe 652300, China;

2. College of Tobacco Science, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: Tillage practices can significantly alter the microenvironment of tobacco plants, thereby influence their growth. To explore the effects of different tillage practices on tobacco plant growth and leaf yield in mountainous tobacco cultivation areas, in this study, using flue-cured tobacco K326 as the material, variation characteristics of agronomic traits, carbon and nitrogen metabolic enzyme activity in tobacco leaves, tobacco yield, and soil nutrient under three tillage practices of conventional tillage(CK), wide ridge(WR), and wide-narrow ridge(WNR) were analyzed. The results showed that compared with CK treatments, the nitrate nitrogen content in the WR and WNR treatments increased by 21.98% and 58.72%, the ammonium nitrogen content increased by 5.79% and 40.54%, and the available phosphorus content increased by 24.95% and 16.47%, but the available potassium content decreased by 29.29% and 20.54%. Compared to WR treatment, the nitrate nitrogen and ammonium nitrogen content in the WNR treatment increased by 30.12% and 32.84%, but there was no significant difference in the content of available potassium and available phosphorus between the two treatments. Both WR and WNR treatments significantly enhanced nitrate reductase(NR) and sucrose synthase(SS) activity compared to CK treatment. The glutamine synthetase(GS) and α -amylase(α -AL) activity in the WR treatment was significantly higher than that in the WNR and CK treatments. Compared to CK treatment, yield in the WR and WNR treatments increased by 5.65% and 4.23% and

收稿日期:2024-09-09

基金项目:云南省烟草公司科技计划项目(20235300000241020)

作者简介:张鲁民,助理农艺师,主要从事烟草栽培生理生化研究,E-mail:258437061@qq.com

通信作者:欧阳铖人,副教授,博士,主要从事作物栽培与生理生态研究,E-mail:ouyang6018@126.com

economic benefits increased by 10.26% and 6.89% respectively, indicating that the WR and WNR treatments could improve agronomic traits of tobacco plants. In conclusion, wide ridge planting methods not only increased the availability of soil nutrients to promote tobacco plant growth but also increased the activity of carbon and nitrogen metabolic enzymes in tobacco leaves, thereby promote improvement of tobacco leaf yield and economic benefits.

Keywords: flue-cured tobacco; wide ridge; soil available nutrients; carbon and nitrogen metabolism; agronomic traits; yield

耕作方式是农业生产中的关键技术之一,不同的耕作方式通过对田间微环境的影响,改善土壤生态环境、土壤耕层质量,提高土壤肥力^[1-2]。因此,合理耕作在有效提高农田土壤肥力、土地生产力、改善生态环境等方面具有重要的意义^[3]。

起垄是影响烟株生长的关键环节之一。目前,关于起垄对土壤透气性和调节土壤水、肥、气、热状况方面的影响已进行了大量的研究^[4-6]。一方面,起垄使养分在耕作层富集,有效降低深层土壤硝态氮累积,减小其向深层淋溶的风险^[7-8]。同时,起垄为土壤微生物提供了有利环境,加快了土壤营养物质的转化,在一定程度上影响土壤理化性质,从而疏松烟株根际土壤,促进根系生长,为烟草的高产和优质生长提供了保障^[9]。另一方面,起垄影响烟株碳氮代谢关键酶蔗糖磷酸合成酶(SPS)、RuBisco酶活性,进而影响烟叶质量^[10]。然而,垄的高低、宽窄、起垄方式等对于土壤温湿度的调控、土壤酶活、土壤速效养分等理化性质的影响差异较大。已有研究表明,烤烟在栽培过程中采用垄基宽70~80 cm、垄高25~30 cm的等行距单垄种植生产技术会导致土壤耕层环境恶化、毒害物质积累、土壤养分供应能力变差、土壤质量明显下降等问题,从而使植烟土壤的水、肥、气、热供应不协调,作物根系生长发育受到限制,影响烤烟品质^[11-12]。因此,有必要开展不同耕作方式对土壤速效养分及其对烟株生长的影响研究。

杨彦磊等^[9]研究表明,增加起垄高度至38 cm改善了植烟土壤热量状况,促进根系生长,提高根系活力,增强叶片抗氧化能力,提高烟叶耐熟性。王树林等^[13]在烤烟上施行M型双垄宽行种植模

式,结果发现,中部叶面积比单垄种植模式增大4.90%,上部叶面积增大26.19%,单位产量、产值均显著提高。常剑波等^[14]研究表明,一垄双行的宽窄行种植方式可以促进烟株生长,在株距65 cm条件下,种植密度为17 100株/hm²时能提高上部叶的整体质量。刘晨等^[15-16]研究表明,双行凹垄模式下宽窄行配置有利于碳氮代谢向提高上部烟叶品质的方向转化,使得烟叶化学成分、糖碱比更协调,感官评吸质量提升。张婷等^[17]研究结果表明,垄宽60 cm能显著提升玉米的产量及水分利用效率。这些研究表明,增加垄宽及宽窄行的种植方式在改善土壤养分和水分利用效率、促进烟株生长等方面比传统单垄种植方式具有优势。然而,随着近年来气候变化,传统的单垄种植难以应对西南地区烟株生长前期干旱少雨、后期雨季多雨的气候特征,但宽垄及宽窄行的种植方式能否与日益恶劣的气候环境相适应还缺乏探讨。

本研究以云南山地烟为对象,探究不同耕作方式下烟株生长和烟叶产值的变化,旨在为烟田合理化管理提供一定理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于澄江市龙街镇上洋海村(102°52'E、24°38'N,海拔为1 767 m)。气候为亚热带季风气候,年降雨量为827.46~845.32 mm;年均气温为14~25℃。具有明显的干湿季特征,每年5—10月为雨季,降水量占全年的85%以上,11月至次年4月为干季,降水量不及15%。土壤类型为棕壤,土壤基本理化性质见表1。

表1 供试土壤基础理化性质
Tab.1 The basally physical and chemical properties of soil tested

土壤类型 Soil type		pH	有机质含	全氮含量/	碱解氮含量/	全磷含量/	有效磷含量/	全钾含量/	速效钾含	硝态氮含	铵态氮含
			量/(g/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)	量/(mg/kg)	量/(mg/kg)	量/(mg/kg)
			Organic matter content	Total nitrogen content	Alkali hydrolyzed nitrogen content	Total phosphorus content	Available phosphorus content	Total potassium content	Available potassium content	Nitrate nitrogen content	Ammonium nitrogen content
棕壤	Brown soil	6.10	12.70	1.75	202.00	0.14	37.30	3.60	220.00	9.73	4.32

1.2 试验材料

大田试验于 2022 年 5 月进行,供试烤烟品种为 K326。供试肥料为烟草专用复合肥(N:P₂O₅:K₂O=12:12:24),基肥与追肥每次以 270.00 kg/hm² 施用;农业用硫酸钾(K₂O≥52.00%,Cl⁻≤1.00%,S≥17.50%)以 300.00 kg/hm² 于烟株中耕培土时施用。供试烟苗、肥料均由澄江市红塔烟草(集团)有限责任公司提供。

1.3 试验设计

采用随机区组设计,设常规种植(CK),株距 60 cm,行距 120 cm,垄基宽 70 cm,垄高 25 cm;宽垄种植(WR),株距 60 cm,行距 120 cm,垄基宽 90 cm,垄高 20 cm;宽窄行种植(WNR),宽行 140 cm,窄行 100 cm,株距 60 cm,行距 120 cm,共 3 个处理,每个处理 3 次重复,共 9 个小区,每小区面积为 36 m²(3.6 m×10.0 m)。

采用膜下小苗移栽方式,移栽时施基肥,并进行盖膜处理,后续追肥、中耕培土、封顶抹杈、病虫害防治、杂草处理与当地烟田生产管理保持一致。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 烟株农艺性状测定 按照《烟草农艺性状调查方法》(YC/WR42—1998)的标准,每个小区随机选取 5 株长势一致的烤烟,测量株高、茎围、最大叶长、最大叶宽、有效叶片数,并计算叶面积系数。

1.4.2 土壤样品采集与测定 烤烟旺长期按五点取样法进行土壤样品采集。采集的土样置于 4℃ 冰箱中保存。之后将土壤样品放置于阴凉通风的地方自然风干,风干后的土壤样品按四分法混均,混均后研磨土样,并通过筛网孔径为 0.425 mm 尼

龙网筛,得到用于土壤养分含量分析的土样。土壤铵态氮含量用氯化钾浸提—靛酚蓝比色法测定^[18],土壤硝态氮含量用紫外分光光度法测定^[19],土壤速效钾含量用原子吸收分光光度法测定^[20],土壤速效磷含量用 0.5 mol/L NaHCO₃ 溶液浸提法测定^[21]。

1.4.3 烟株叶绿素 SPAD 值测定 烤烟旺长期用 SPAD-502 叶绿素仪测定烟株叶片 SPAD 值,测定部位为从下往上数第 5 片叶,避开叶脉均匀选取 10 个点进行测定。

1.4.4 烟株碳氮代谢关键酶活性测定 烤烟旺长期采集烟叶,每个处理按照五点取样法进行取样,将采集的烟叶样品迅速放入液氮罐进行保存,后转移至 -80℃ 冰箱中保存备用。采用磺胺比色法测定硝酸还原酶活性^[22],采用紫外分光光度法测定蔗糖合成酶、谷氨酰胺合成酶活性,采用可见分光光度法测定 α-淀粉酶活性^[23-24]。

1.4.5 烟叶经济性状测定 烟叶成熟后,按试验小区进行采摘和烘烤,并挂牌,按照 42 级国家分级标准《烤烟》(GB 2635—1992)对烤后烟叶进行分级及计产^[25],并按照 2022 年烤烟收购价格计算均价、产量、产值及上等烟比例。

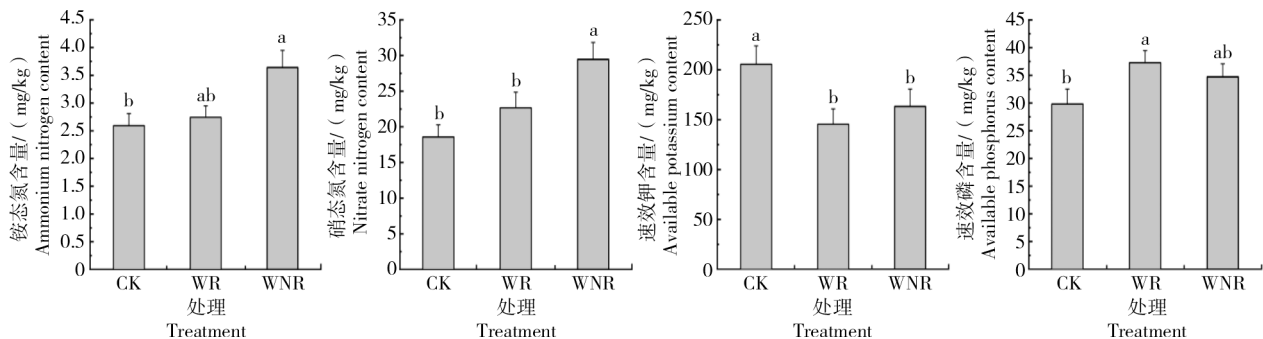
1.5 数据分析

采用 Excel 2013 进行数据整理,采用 SPSS 22.0 软件对数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA),利用 Origin 2021 进行制图。

2 结果与分析

2.1 不同耕作方式对土壤速效养分的影响

不同耕作方式对土壤速效养分影响如图 1 所示。



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下图同

Different lowercase letters indicated significant differences among the treatments ($P < 0.05$). The same as below

图 1 不同耕作方式对土壤速效养分的影响

Fig.1 Effects of different tillage practices on soil available nutrients

由图 1 可知,与 CK 处理相比,WR、WNR 处理的土壤硝态氮含量分别提高了 21.98%、58.72%,

铵态氮含量分别显著提高了5.79%、40.54% ($P<0.05$),速效钾含量分别显著降低了29.29%、20.54% ($P<0.05$)。WR处理的速效磷含量比CK分别显著提高了24.95% ($P<0.05$)。WNR处理的硝态氮、铵态氮含量比WR处理分别提高了30.12%、32.84%,但二者的速效磷和速效钾含量差异不显著。整体而言,与常规单垄种植相比,宽垄和宽窄

行处理提升了土壤硝态氮、铵态氮、速效磷含量,但降低了速效钾含量,其中,宽窄行处理的硝态氮含量提升最为明显。

2.2 不同耕作方式对烤烟农艺性状和叶绿素含量的影响

不同耕作方式对烤烟农艺性状和叶绿素含量的影响如表2所示。

表2 不同耕作方式对烤烟旺长期农艺性状的影响

Tab.2 Effects of different tillage practices on the agronomic traits at the vigorous growth period of flue-cured tobacco

处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎围/cm Stem girth	最大叶长/cm Maximum leaf length	最大叶宽/cm Maximum leaf width	有效叶片数/片 Number of effective leaves	SPAD
CK	87.00±4.35a	8.13±0.41a	71.75±3.59ab	32.50±1.63a	18.00±0.90a	47.69±2.38b
WR	90.25±4.51a	8.90±0.45a	77.25±3.86a	34.00±1.70a	16.50±0.83b	51.69±2.58a
WNR	83.00±4.15ab	8.30±0.42a	73.75±3.69a	33.25±1.66a	17.25±0.86ab	48.46±2.43b

注:同列不同字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note: Different letters in the same column indicated significant differences among different treatments($P<0.05$). The same as below.

由表2可知,WR处理的株高比CK和WNR处理分别增加了3.74%、3.78%。WR和WNR处理的最大叶长与CK相比分别增加了7.66%、2.78%,茎围、最大叶宽在3个处理间差异均不显著。旺长期WR处理烟株的SPAD值显著高于CK、WNR处理($P<0.05$),有效叶片数显著低于CK($P<0.05$);与CK、WNR处理相比,WR处理的烟株SPAD值分别高出7.53%、6.77%,WNR处理的烟株SPAD值比CK提高0.71%。综上,WR处理的烤烟长势优于CK、WNR处理。WR、WNR处理均能提升烟株的叶绿素含量,且WR处理的效果最佳。

2.3 不同耕作方式对烟株碳氮代谢关键酶活性的影响

由图2可知,WR、WNR处理的烟株硝酸还原酶活性比CK显著提高了35.71%、33.92% ($P<0.05$);WR处理的烟株硝酸还原酶活性比WNR处

理增加1.33%。WR处理的烟株谷氨酰胺合成酶活性与CK相比增加了9.79%,而WNR处理的烟株谷氨酰胺合成酶活性与CK相比降低44.18%,其中,WNR处理的烟株谷氨酰胺合成酶活性显著低于WR处理($P<0.05$),且降低49.48%。WR、WNR处理的烟株蔗糖合成酶活性较CK分别显著增加23.32%、11.07% ($P<0.05$),WR处理的烟株蔗糖合成酶活性比WNR增加11.03%。与CK相比,WR处理的 α -淀粉酶活性显著增加33.34% ($P<0.05$),WNR处理的烟株 α -淀粉酶活性显著降低35.77% ($P<0.05$)。综上,与常规单垄种植相比,宽垄种植能提高烟株的氮代谢关键酶活性,从而使得烟株的氮代谢能力增强,宽窄行处理虽然能提高烟株的硝酸还原酶活性,但显著降低谷氨酰胺合成酶与 α -淀粉酶活性。

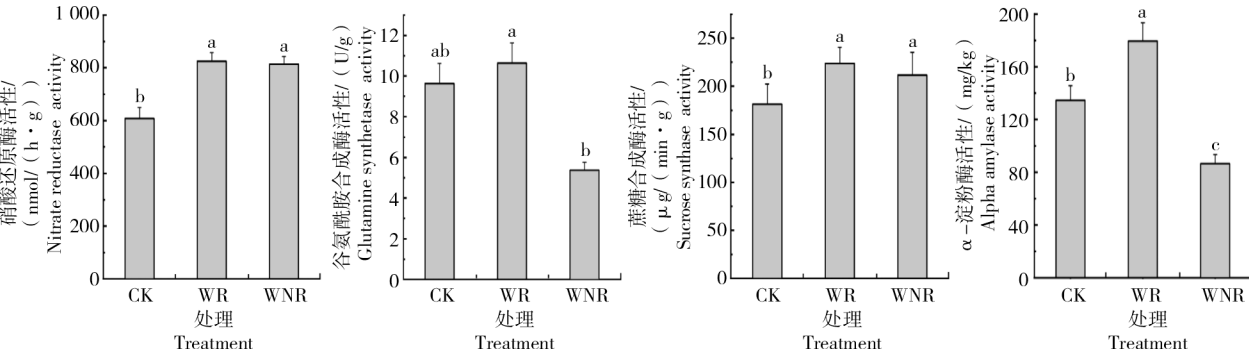


图2 不同耕作方式对烟株碳氮代谢关键酶活性的影响

Fig.2 Effects of different tillage practices on key enzyme activities in carbon and nitrogen metabolism of tobacco plants

2.4 不同耕作方式对烟株产量和经济效益的影响

从表 3 可以看出,WR、WNR 处理的烤烟产量、产值、均价、中上等烟比例均高于 CK。与 CK 相比,WR、WNR 处理的烟株产量分别提升 5.65%、4.23%,产值分别提升 10.26%、6.89%,均价分别提升 4.36%、2.55%,中上等烟比例分别提升 3.08%、0.72%;与 WNR 处理相比,WR 处理的烟株产量提升 1.36%,均价提升 0.70%,产值提升 3.15%,中上等烟比例提升 2.34%。WR、WNR 处理的产值均显著高于 CK($P<0.05$),而且 WR、WNR 处理均能增加烤烟的经济效益,其中,WR 处理烟叶的产量与质量均为最优。

3 结论与讨论

3.1 不同耕作方式对烤烟土壤关键速效养分的影响

耕作方式是影响土壤理化性质的重要因素之一。本研究表明,相较于传统单垄种植,宽窄行处理显著增加了硝态氮、铵态氮含量,提升了土壤供氮能力,与孙露莹等^[26]的研究结果相类似,即宽行处理比传统单垄种植显著提升了土壤供氮能力(硝态氮、铵态氮含量增加),增加了土壤速效磷含量。其可能原因为:一方面,宽垄、宽窄行的种植模式能降低山区土壤水分蒸散,提升了土壤的保水能力。较高的土壤含水量增加了微生物量碳氮含量,促进土壤微生物的快速繁殖,增加土壤微生物的多样性。土壤微生物多样性的增加促进了土壤微生物对养分的分解,增强速效养分的释放,提升土壤脲酶等酶活性,达到保肥的目的^[27-28]。土壤含水量的增加也进一步增加了旱区烤烟根系周围的阴阳离子交换量,促进烟株根系生长,刺激侧根生长,促进养分的向上运输,提高烟株对养分的精准吸收能力和地上部的光合作用^[29]。另一方面,宽垄、宽窄行的种植模式能有效改善土壤层物理结构,提高土壤通透性,增强根系呼吸,促进根系

生长。

本研究中,与宽窄行处理相比,宽垄种植方式的硝态氮、铵态氮含量降低,但速效磷含量升高,可能原因是宽垄这一种植方式比宽窄行能更好地调节土壤温度和湿度,提升土壤酶活性,提升土壤肥力^[30],从而促进根系生长,增加根吸收养分面积和根系的空间分布,进而影响植株对养分的吸收和利用^[31-32]。整体而言,宽垄这一耕作方式为烤烟生长提供了良好的生长环境。

3.2 不同耕作方式对烤烟生长和烟株碳氮代谢的影响

农艺性状是烤烟田间长势的直观表现^[33]。本研究表明,宽垄、宽窄行处理的最大叶长、最大叶宽以及 SPAD 值显著高于传统单垄种植方式,与王树林等^[34]的研究结果相似。可能原因为宽窄行处理改善了烟田田间微环境,一方面,增加胞间二氧化碳浓度,提升叶片光合作用;另一方面增加了叶片冠层的截光能力,进而增强光合作用,增加叶绿素含量^[29,35]。宽垄处理改善了烟田土壤微环境,能有效促进烟株周围水分利用,促进烟株根系发育,使得叶片充分生长^[36],进而提高了烟株瞬时光能利用率及瞬时羧化速率,提高光温资源的利用效率,同时更好地给烟株生长提供营养物质^[37]。

光合作用增强,同时提高光能利用率,使得烟株的生长所需能量增多,增强烟株氮代谢水平。本研究中,与传统单垄种植方式相比,宽垄种植方式提高了烟株叶片的氮代谢关键酶硝酸还原酶、谷氨酰胺合成酶活性和碳代谢关键酶蔗糖合成酶、 α -淀粉酶活性,表明宽行处理显著提升了烟株碳氮代谢能力。与传统单垄种植方式相比,宽窄行种植方式的氮代谢关键酶硝酸还原酶活性增加,谷氨酰胺合成酶活性降低,碳代谢关键酶蔗糖合成酶活性增加, α -淀粉酶活性降低,可能是因为宽窄行处理使得氨基酸的合成效率降低,降低了

表 3 不同耕作方式对烟叶产量和经济效益的影响

Tab.3 Effects of different tillage practices on yield and economic benefits of tobacco

处理 Treatment	产量/(kg/hm ²) Yield	产值/(万元/hm ²) Output value	均价/(元/kg) Average price	中上等烟比例/% Proportion of middle-upper tobacco
CK	2 004.75±100.20b	5.51±0.12b	27.52±1.38a	81.79±4.09a
WR	2 118.00±105.90a	6.06±0.15a	28.78±1.44a	84.31±4.22a
WNR	2 089.65±104.55ab	5.89±0.14a	28.20±1.41a	82.38±4.12a

淀粉积累^[38]。可见,宽垄这一耕作方式在西南山区更适合。

烟株前期碳氮代谢能力的强弱影响烟株产量和烟叶质量^[39]。本研究表明,与常规单垄处理相比,宽垄、宽窄行处理提高了烤烟的产量、中上等烟比例和产值。可能原因是宽垄和宽窄行处理使得烟株生长期碳氮代谢更加协调,后期烟叶适时落黄成熟,促进类胡萝卜素等物质的积累,从而提升了烟叶外观质量^[40-41]。本研究中,宽垄模式在烟叶产量、经济效益和中上等烟比例均高于宽窄行,究其原因可能是宽垄这一耕作方式在山地环境下可以增强土壤保水能力,促进烟株根系吸收土壤营养物质,对烟株产量的提升效果显著,表明宽垄耕作方式更适合于西南山地前期干旱少雨、后期雨季多雨的气候特征。

本研究探讨了山地植烟区不同耕作方式对烤烟农艺性状、烟叶产量、烟株碳氮代谢关键酶活性方面的影响,结果表明,与常规单垄种植相比,宽垄、宽窄行耕作方式在增加土壤养分供应,促进烟株生长,增强烟株碳氮代谢能力,提高烟叶产量、产值和中上部烟比例方面效果显著。与宽窄行处理相比,宽垄这一耕作方式的土壤硝态氮和铵态氮含量增加,烟株生长较快,碳氮代谢增强,烟叶产量增加。综上,宽垄这一耕作方式在西南山地前期干旱少雨、后期雨季多雨的气候条件下更加适合。

参考文献:

- [1] 刘波,吴礼树,鲁剑巍,等. 不同耕作方式对土壤理化性质影响研究进展[J]. 耕作与栽培,2010,30(2):55-58.
LIU B, WU L S, LU J W, et al. Progress of research on the effects of different tillage methods on soil physicochemical properties[J]. Tillage and Cultivation, 2010, 30(2): 55-58.
- [2] 姜春霞,单宇茜,杜宇昕,等. 不同耕作方式下玉米抗旱保苗及土壤蓄水保墒效应的层次递进分析[J]. 山西农业科学, 2022, 50(8): 1184-1189.
JIANG C X, SHAN Y Q, DU Y X, et al. Hierarchical progressive analysis of the effects of seedling preservation, drought resistance, soil water storage, and moisture conservation of maize under different tillage methods[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2022, 50(8): 1184-1189.
- [3] 周虎,吕貽忠,杨志臣,等. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1973-1979.
ZHOU H, LÜ Y Z, YANG Z C, et al. Effects of conservation tillage on soil aggregates in Huabei plain, China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(9): 1973-1979.
- [4] 李子绅,张常兴,张锦中,等. 不同起垄方式对植烟土壤物理特性及烤后烟叶产质量的影响[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(12): 151-158.
LI Z S, ZHANG C X, ZHANG J Z, et al. Influences of different ridging patterns on soil physical properties, yield and quality of planted tobacco[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2019, 21(12): 151-158.
- [5] 高静娟,朱晨宇,柯玉琴,等. 烟稻轮作条件下有机肥施用时期对烤烟碳氮代谢的影响[J]. 中国农业科技导报, 2023, 25(9): 157-165.
GAO J J, ZHU C Y, KE Y Q, et al. Effects of organic fertilizer application period on carbon and nitrogen metabolism in flue-cured tobacco under tobacco-rice rotation[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2023, 25(9): 157-165.
- [6] 姜或宸,冯月,池田,等. 不同磷肥水平和种植模式对土壤养分含量和酶活性的影响[J]. 山西农业科学, 2023, 51(7): 742-749.
JIANG Y C, FENG Y, CHI T, et al. Effects of different phosphate fertilizer levels and planting patterns on soil nutrient content and enzyme activity[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2023, 51(7): 742-749.
- [7] 侯园泉. 耕作施肥模式对旱地夏玉米-冬小麦产量和土壤特性的影响[D]. 洛阳:河南科技大学, 2022.
HOU Y Q. Effects of tillage and fertilization patterns on yield of summer maize-winter wheat and soil properties in dryland [D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2022.
- [8] 曹雪枫,王丽群,王鸿斌. 不同耕作方式对黑土化学性质及酶活性的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2024, 46(5): 777-784.
CAO X F, WANG L Q, WANG H B. Effects of different tillage methods on chemical properties and enzyme activities of black soil[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2024, 46(5): 777-784.
- [9] 杨彦磊,冉静,郭鸿雁,等. 不同垄高对植烟土壤热量状况及烤烟根系生长和烟叶耐熟性的影响[J]. 华北农学报, 2024, 39(5): 128-138.
YANG Y L, RAN J, GUO H Y, et al. Effects of different ridge heights on soil heat status, root growth, and leaf maturity tolerance of flue-cured tobacco[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2024, 39(5): 128-138.
- [10] 罗玉龙. 起垄方式对玉/苕套作中甘薯生长、光合生理及产量的影响[D]. 重庆:西南大学, 2017.
LUO Y L. The effect of ridging modes on growth, photosynthetic physiology and yield of sweet potato in relay-cropping system[D]. Chongqing: Southwest University, 2017.
- [11] 郭罗迪. 不同耕作措施对土壤有机碳、土壤结构及蓄水性能 and 作物生长的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2023.
GUO L D. Effects of different tillage practices on soil organic carbon, soil structure, water storage performance and crop growth[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2023.
- [12] 孟战赢,王育红,郭党,等. 不同种植密度对夏玉米产量及农艺性状的影响[J]. 山西农业科学, 2025, 53(3): 50-57.
MENG Z Y, WANG Y H, GUO D, et al. Effects of different planting densities on yield and agronomic traits of summer maize[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53

- (3):50-57.
- [13] 王树林,史万华,刘好宝,等.烟草轻简高效栽培技术研究:Ⅲ.M型宽垄双行种植模式对烟草生长及产质量的影响[J].中国烟草科学,2011,32(5):29-33.
WANG S L,SHI W H,LIU H B,et al. Study on simplified and labor saving cultivation of tobacco-Ⅲ.Effects of M-regional crop rotation on growth, yield and quality of tobacco [J]. Chinese Tobacco Science, 2011, 32(5): 29-33.
- [14] 常剑波,陈彦春,李维观,等.宽窄行条件下不同种植群体密度对上部叶质量的影响[J].现代农业研究,2022,28(1):87-90.
CHANG J B,CHEN Y C,LI W G,et al. Effects of different planting population density on upper leaf quality under wide and narrow ridge conditions[J]. Modern Agriculture Research, 2022, 28(1): 87-90.
- [15] 刘晨,韩玉环,杨龙,等.宽窄行模式下不同行距对烤烟上部叶生长及质量的影响[J].山东农业科学,2022,54(12):63-68.
LIU C,HAN Y H,YANG L,et al. Effects of different row spacings on growth and quality of upper leaves of flue-cured tobacco under wide-narrow row pattern[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2022, 54(12): 63-68.
- [16] 刘晨,杨明峰,杨龙,等.双行凹垄模式下宽窄行配置对烤烟上部叶生长发育及质量的影响[J].作物杂志,2023(5):151-156.
LIU C,YANG M F,YANG L,et al. Effects of wide-narrow row configuration in double-row concave ridge on growth and quality of upper leaves of flue-cured tobacco[J]. Crops, 2023 (5): 151-156.
- [17] 张婷,吴普特,赵西宁,等.垄沟种植模式对玉米生长及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(1):27-30.
ZHANG T,WU P T,ZHAO X N,et al. Effects of ridge and furrow planting system on growth and yield of maize[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2013, 31(1): 27-30.
- [18] 端爱玲,韩张雄,黄艳,等.靛酚蓝比色法测定土壤中铵态氮注意事项[J].当代化工,2021,50(12):2861-2864.
DUAN A L,HAN Z X,HUANG Y,et al. Problems and solutions for determination of ammonium nitrogen in soil by the method of indophenol blue colorimetry[J]. Contemporary Chemical Industry, 2021, 50(12): 2861-2864.
- [19] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科学技术出版社,2000.
LU R K. Methods of soil agrochemical analysis[M]. China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [20] 张雄.原子吸收分光光度计测定土壤速效钾[J].南方农业,2018,12(35):112.
ZHANG X. Determination of quick-acting potassium in soils by atomic absorption spectrophotometry [J]. South China Agriculture, 2018, 12(35): 112.
- [21] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
BAO S D. Soil and agricultural chemistry analysis[M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [22] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:127-128,134-137.
LI H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 127-128, 134-137.
- [23] 刘以前,沈火林,石正强.番茄果实生长发育过程中糖的代谢[J].华北农学报,2006,21(3):51-56.
LIU Y Q,SHEN H L,SHI Z Q. The sugar metabolism in tomato developing fruits[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2006, 21(3): 51-56.
- [24] 邹琦.植物生理生化实验指导[M].北京:中国农业出版社,1995.
ZOU Q. Experimental guidance of plant physiology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995.
- [25] GB/T 2635—1992,烤烟[S].北京:中国国家技术监督局,1992.
GB/T 2635-1992, Flue-cured tobacco[S]. Beijing: China State Bureau of Technical Supervision, 1992.
- [26] 孙露莹,宋凤斌,朱先灿,等.玉米宽窄行种植方式对土壤酶活性的影响[J].华北农学报,2014,29(3):142-146.
SUN L Y,SONG F B,ZHU X C,et al. The effect of narrow-wide row planting patterns of maize on soil enzyme activities [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2014, 29(3): 142-146.
- [27] 廖红冀.宽窄行与高低垄对烤烟生长发育及产质量的影响[D].郑州:河南农业大学,2018.
LIAO H Q. Effects of wide and narrow rows and high and low ridge on the growth and development of flue-cured tobacco [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2018.
- [28] 许猛,苗强,张凤丽,等.玉米140 cm大垄双行通透栽培技术研究[J].黑龙江农业科学,2006(3):45-47.
XU M,MIAO Q,ZHANG F L,et al. Study on the cultivation technology of ventilation and photopermeability of big ridge twin row in 140 cm of corn[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2006(3): 45-47.
- [29] 曹本福,桂阳,祖庆学,等.减量施肥下聚天冬氨酸对烤烟生长、产量及养分吸收的影响[J].中国烟草科学,2018,39(5):57-63.
CAO B F,GUI Y,ZU Q X,et al. Effects of polyaspartic acid on growth, yield and nutrient absorption of flue-cured tobacco with reduced fertilization[J]. Chinese Tobacco Science, 2018, 39(5): 57-63.
- [30] 王树林,胡晓明,王微弘,等.烤烟M型宽垄双行区域轮作栽培技术研究[C]//中国烟草学会2012年学术年会论文集.南京,2012:587.
WANG S L,HU X M,WANG X H,et al. Research on regional rotation cultivation technology of flue-cured tobacco with M-type wide ridge and double-row planting[C]//Proceedings of the 2012 academic annual conference of the China tobacco society. Nanjing, 2012: 587.
- [31] 张常兴,马波波,商悦名,等.不同垄作方式与覆膜厚度对烤烟根系生长发育的影响[J].山东农业科学,2017,49(5):52-56.
ZHANG C X,MA B B,SHANG Y M,et al. Effects of different ridge culture modes and mulching film thickness on root growth of flue-cured tobacco[J]. Shandong Agricultural Sci-

- ences,2017,49(5):52-56.
- [32] ZHENG H Y, WANG J Y, CUI Y, et al. Effects of row spacing and planting pattern on photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and related enzyme activities of maize ear leaf in maize - soybean intercropping[J]. *Agronomy*, 2022, 12(10):2503.
- [33] 徐照丽, 李天福. SPAD-502 叶绿素仪在烤烟生产中的应用研究[J]. *贵州农业科学*, 2006, 34(4):23-24.
XU Z L, LI T F. The use of the SPAD-502 chlorophyll meter during the flue-cured tobacco growth[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2006, 34(4):23-24.
- [34] 王树林. M型宽垄双行烤烟轻简种植模式研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
WANG S L. Study on simplified M-type wide ridge duplicaterow-planting patterns of flue-cured tobacco[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011.
- [35] 武志海, 张治安, 陈展宇, 等. 大垄双行种植玉米群体冠层结构及光合特性的解析[J]. *玉米科学*, 2005, 13(4):62-65.
WU Z H, ZHANG Z A, CHEN Z Y, et al. Researched on characteristics of canopy structure and photosynthetic characteristic of maize planting in double lines at one width ridge[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2005, 13(4):62-65.
- [36] 罗井清, 邓小华, 陈金, 等. 凹形双垄侧覆膜对耕层水热环境和上部烟叶生长及质量的影响[J]. *土壤*, 2019, 51(5):1013-1019.
LUO J Q, DENG X H, CHEN J, et al. Effects of concave ridge double-row and side mulching on moisture and temperature of plough soil and growth of tobacco during late period of field-planting and quality of tobacco upper leaves[J]. *Soils*, 2019, 51(5):1013-1019.
- [37] 杨铁钊, 杨志晓, 柯油松, 等. 不同种植模式对烤烟根系和叶片衰老特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(12):2977-2982.
YANG T Z, YANG Z X, KE Y S, et al. Effects of different planting patterns on the senescence characteristics of flue-cured tobacco roots and leaves[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(12):2977-2982.
- [38] 刘玲玲, 王志军, 杨军杰. 不同耕作方式对烤烟品质和产量的影响[J]. *现代农业科技*, 2023(3):36-39.
LIU L L, WANG Z J, YANG J J. Effects of different tillage methods on yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2023(3):36-39.
- [39] 普匡, 陈旭, 杨加珍. 垄沟覆膜对烤烟生长发育及产量品质性状的影响[J]. *西南农业学报*, 2020, 33(9):1905-1910.
PU K, CHEN X, YANG J Z. Effects of furrow film mulching on growth and yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2020, 33(9):1905-1910.
- [40] 许卫猛, 阳波, 张定志, 等. 双行凹型垄栽培对山地烤烟产量品质的影响[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2014, 39(2):56-60.
XU W M, YANG B, ZHANG D Z, et al. On effects of double-row concave ridge cultivation technique on yield and quality of mountainous flue-cured tobacco[J]. *Journal of Southwest China Normal University(Natural Science Edition)*, 2014, 39(2):56-60.
- [41] 王逸飞, 刘红杰, 刘朝科, 等. 宽窄行交替种植对烤烟产量和品质的影响[J]. *贵州农业科学*, 2012, 40(4):91-93.
WANG Y F, LIU H J, LIU C K, et al. Effects of wide and narrow row planting pattern on yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2012, 40(4):91-93.