

赵硕,刘宝勇,史普想,等.花生和玉米间作轮作对科尔沁沙地土壤质量及经济效益的影响[J].山西农业科学,2026,54(1):106-113.

ZHAO S, LIU B Y, SHI P X, et al. Effects of peanut-maize intercropping rotation on soil quality and economic benefits in Horqin sandy land[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2026, 54(1): 106-113.

doi:10.26942/j.cnki.issn.1002-2481.2026.01.12

花生和玉米间作轮作对科尔沁沙地土壤质量及经济效益的影响

赵 硕¹, 刘宝勇¹, 史普想², 李宝龙³, 张靖涵¹, 陈 曦¹, 张桐普¹

(1. 辽宁工程技术大学 环境科学与工程学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 辽宁省沙地治理与利用研究所, 辽宁 阜新 123000; 3. 辽宁工程技术大学 机械工程学院, 辽宁 阜新 123000)

摘 要:为了给科尔沁沙地适宜的花生—玉米的种植模式奠定理论基础,以花生和玉米带状间作为研究对象,设置3(PC1)、6(PC2)、9 m(PC3)3种间作带宽,以12 m带宽的花生连作(PP)为对照,开展当年间作、次年轮作的田间试验,探究不同处理对沙地土壤养分、酶活性及间作带宽对经济效益的影响。结果表明,花生和玉米轮作对花生和玉米根际土壤养分及酶活性的积极影响显著高于间作处理与花生连作处理。相关性分析结果表明,在花生结荚期,碱解氮、速效钾、有机质含量与过氧化氢酶、脲酶活性呈显著或极显著正相关;在花生收获期,速效磷含量与纤维素酶、脲酶活性呈显著正相关,速效钾含量与纤维素酶活性呈显著正相关。经济效益方面,PC2处理下花生和玉米间作与轮作的经济效益分别为36 370.5、39 759.0元/hm²,均显著高于其他带宽处理,较对照分别增收11 494.5、12 660.0元/hm²。综上,花生和玉米在带宽6 m(PC2处理)下间作轮作的根际土壤养分状况与酶活性表现最佳,作物产量及经济效益均达峰值。该处理不仅能有效缓解花生连作障碍问题,更与农机农艺融合发展需求高度契合,是最优种植模式与带宽配置。

关键词:花生;玉米;土壤养分;酶活性;产量;间作;轮作

中图分类号:S344.1+3 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2481(2026)01-0106-08

Effects of Peanut-Maize Intercropping Rotation on Soil Quality and Economic Benefits in Horqin Sandy Land

ZHAO Shuo¹, LIU Baoyong¹, SHI Puxiang², LI Baolong³,

ZHANG Jinghan¹, CHEN Xi¹, ZHANG Tongpu¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;

2. Liaoning Institute of Sandy Land Management and Utilization, Fuxin 123000, China;

3. School of Mechanical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: In order to lay a theoretical foundation for the suitable peanut-maize planting model in the Horqin sandy land, in this study, peanut-maize band intercropping was taken as the research subject, three intercropping bandwidths of 3 m(PC1), 6 m(PC2) and 9 m(PC3) were set up, and the continuous cropping of peanut with a bandwidth of 12 m was used as the control to carry out field experiments of intercropping in the current year and rotation in the next year, to explore the effects of different treatments on soil nutrients and enzyme activities and the effects of intercropping bandwidth on economic benefits. The results showed that peanut-maize rotation had significantly more positive effects on soil nutrients and enzyme activities in the rhizosphere of peanut and maize than those in intercropping and peanut continuous cropping. Correlation analysis showed that the contents of alkali-hydrolyzable nitrogen, available potassium, and organic matter were significantly or extremely positively

收稿日期:2025-04-02

基金项目:辽宁省科技厅应用基础研究计划(2022020385-JH2/1013)

作者简介:赵 硕,在读硕士,研究方向:生态修复,E-mail:2965676723@qq.com

通信作者:刘宝勇,副教授,硕士生导师,主要从事工矿区水土保持以及环境污染与治理教学与研究,E-mail:liubaoyong00@163.com

correlated with catalase and urease activity at the pod-setting stage of peanut. At the harvest stage of peanut, available phosphorus content was significantly positively correlated with cellulase and urease activity, and available potassium content was significantly positively correlated with cellulase activity. In terms of economic benefits, the economic benefits of peanut-maize intercropping and rotation under PC2 treatment were 36 370.5 yuan/ha and 39 759.0 yuan/ha, respectively, which were significantly higher than those under other bandwidth treatments, and increased by 11 494.5 yuan/ha and 12 660.0 yuan/ha, respectively, compared with the control. In conclusion, the nutrient status and enzyme activity of rhizosphere soil under peanut-maize intercropping rotation with a bandwidth of 6 m(PC2) were the best, and the crop yield and economic benefits reached the peak. This treatment could not only effectively alleviate the problem of peanut continuous cropping obstacles, but also highly matched the development needs of agricultural machinery and agronomic integration, and was the optimal planting mode and bandwidth allocation.

Keywords: peanuts; maize; soil nutrients; enzyme activity; yield; intercropping; crop rotation

科尔沁沙地地处内蒙古自治区东南部与辽宁省西部接壤区域,作为我国北方农牧交错带典型的生态脆弱区,长期受干旱多风的温带大陆性气候影响,形成以风沙土为主的地带性土壤类型^[1]。该区域既是欧亚大陆温带荒漠草原生态系统的东延部分,也是京津冀地区重要的生态屏障,其土壤质地疏松、有机质含量低,加之长期不合理的人类活动干扰,导致沙化土地扩张与土壤肥力退化问题突出,成为我国荒漠化防治与生态修复的关键区域。近年来,不合理的农牧及工矿活动加剧了土地沙化与质地粗化,造成土壤肥力退化^[2]。

当地花生种植历史久且经济效益高,但随着种植面积和年限增加,连作障碍凸显,严重制约花生种植业与土壤质量的可持续发展^[3]。所以,提升科尔沁沙地土壤质量、改善花生连作障碍对保障当地农业可持续发展、提高农民收入具有重要意义,也有助于维护区域生态平衡。孙子欣等^[4]研究表明,连作不仅导致土壤中有益微生物与病原微生物的比例失衡,还会显著改变土壤微生物群落的组成结构和功能多样性。程亮等^[5]研究指出,花生连作会导致土壤微生物多样性降低,而花生玉米间作与轮作可有效缓解连作带来的负面效应。作为传统农艺措施,间作通过高效利用光温水气肥等资源,能够改变土壤物理、化学及生物学特性,提升养分利用效率,进而促进作物生长并提高产量与经济效益^[6-8]。多项研究表明,玉米分别与大豆、花生间作时,根际土壤的有效养分含量、酶活性及水分状况均优于单作模式,且对土壤微生物群落及微生态环境具有改良作用。张智晖^[9]在玉米大豆间作体系研究中指出,相较于单作模式,间作处理的根际土壤有效养分含量及酶活性均呈现显著提升。LI等^[10]针对玉米花生间作系统的研

究表明,该间作模式与玉米单作相比,可显著提高其根际土壤中有效氮、有效磷的含量,同时增强土壤中脲酶和磷酸单酯酶的活性。刘均霞等^[11]通过玉米大豆间作试验进一步证实,间作模式下的土壤酶活性显著高于单作,且在相同环境条件下,根际土壤养分有效性表现更强。唐秀梅等^[12]针对玉米花生间作模式的研究表明,该模式能够有效改善土壤微生物结构、优化养分状况、改良微生态环境,并增加耕层土壤含水量。尽管前人对间作套种及花生连作障碍有一定研究,但针对科尔沁沙地这一特殊生态区域,玉米花生间作与轮作模式下不同带宽配置对土壤质量影响的研究尚显不足。

本研究依托辽宁省农业科学院试验基地,选取已经连续种植5 a花生的田地,开展大田试验,研究玉米花生间作与轮作对科尔沁沙地土壤养分、酶活性的影响以及间作带宽对经济效益的影响,明确能最大程度提升土壤质量、改善花生连作障碍的种植模式和间作带宽,旨在为科尔沁沙地花生玉米间作生产技术提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区域位于辽宁省沙地治理与利用研究所章古台试验站,地处科尔沁沙地东南缘前沿地带(43°20'N, 123°22'E),该区域气候为半干旱向半湿润过渡的亚湿润干旱气候区。年平均气温5.7℃,年平均降水量500 mm,年平均蒸发量1 300 mm,平均相对湿度59%,无霜期为150 d。该区域瞬时最大风速可达30 m/s,年均风速超过5 m/s的风沙天气频次逾240次。土壤类型主要为砂壤土,碱解氮含量为23.98 mg/kg,速效磷含量为45.40 mg/kg,

速效钾含量为 84.86 mg/kg, 有机质含量为 8.11 g/kg, pH 值为 6.56。

1.2 试验材料

玉米品种为辽单 588, 花生品种为阜花 30, 以上作物品种经过多年的适应性评价, 已被证明能够抵抗一定的干旱环境条件, 是当地农民常选用的品种。

1.3 试验设计

试验于 2023 年开始、2024 年结束, 2023 年间作、2024 年轮作。花生单行起垄裸地种植, 行距 50 cm, 穴距 13~15 cm, 穴播 2 粒, 公顷保苗 27 万~

30 万株; 玉米单行起垄裸地种植, 行距 50 cm, 株距 30~40 cm, 单粒播种, 公顷保苗 5.25 万~6.75 万株。所有处理均施有机肥作为底肥, 施肥量一致, 且均不喷洒农药。5 月中旬人工点播播种。开深沟先施入基肥 (磷酸二铵、硫酸钾), 随后进行培土作业, 再播种并覆土镇压, 依据当年降水情况灌溉 1 次。试验设置 4 种处理, 分别为花生、玉米间作带宽 3 (PC1)、6 (PC2)、9 m (PC3), 花生带宽 12 m 连作 (PP) 作为对照, 第 2 年按带宽进行轮作。种植示意图如图 1 所示。

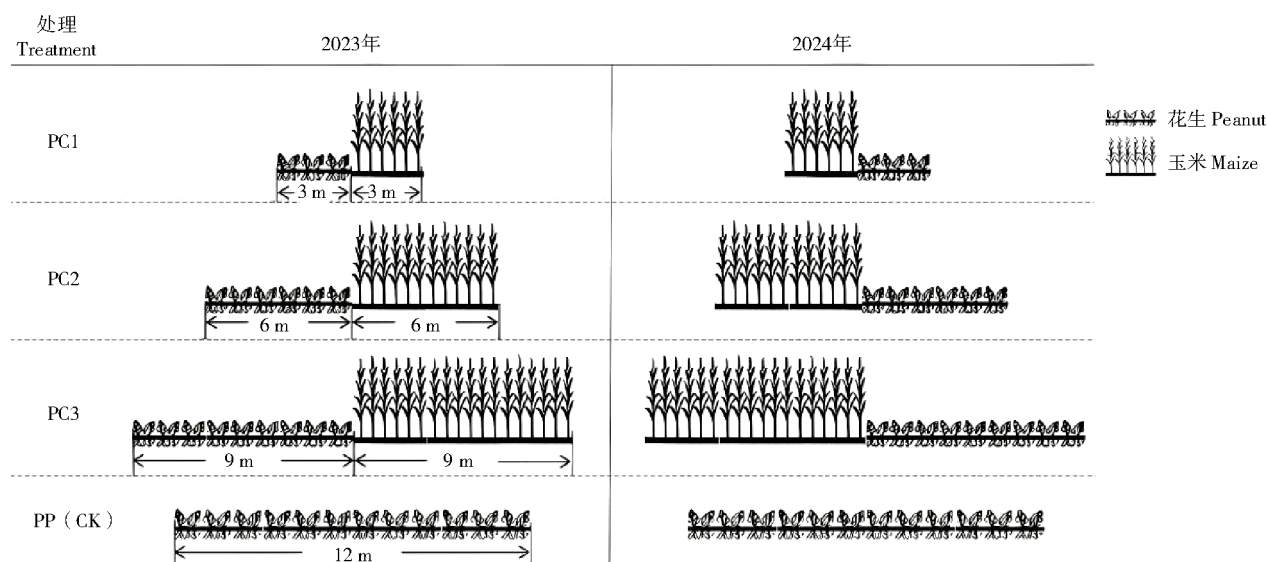


图 1 2023—2024 年各处理的种植模式

Fig.1 Schematic diagram of planting patterns of each treatment from 2023 to 2024

1.4 测定项目及方法

在花生的结荚期和成熟期分别进行采样, 玉米采样同步进行。将 2 种作物整个根系从土壤中挖出, 采用抖土法收集土样; 按 S 形路线在试验田中取样, 在每种处理下的花生、玉米各取 15 个样点混合, 其他处理取样方法相同。将田间取得的土样带回, 挑出杂质后风干, 经 1 mm 筛网过筛均分为 2 份, 一份置于 4℃ 冰箱内保存用于土壤酶活性测定, 另一份置于阴凉通风处自然风干用于土壤养分测定。

1.4.1 土壤养分测定 土壤碱解氮、速效磷、速效钾和有机质含量分别采用碱解扩散法、钼锑抗比色法、 NH_4OAc 浸提-火焰光度法和稀释热法测定^[13]。

1.4.2 土壤酶活性测定 土壤过氧化氢酶活性采

用高锰酸钾滴定法测定, 磷酸单酯酶活性采用对硝基苯磷酸盐比色法测定, 脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定, 纤维素酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定^[14]。

1.5 数据分析

数据处理采用 Excel 完成, 统计分析借助 SPSS 26 软件, 通过单因素方差分析检验, 进行多重比较 ($P < 0.05$), 采用沃勒-邓肯分析法进行显著性分析; 采用 Origin 进行绘图; 用 Spearman 相关系数法对土壤养分与土壤酶活性之间的相关性进行分析。

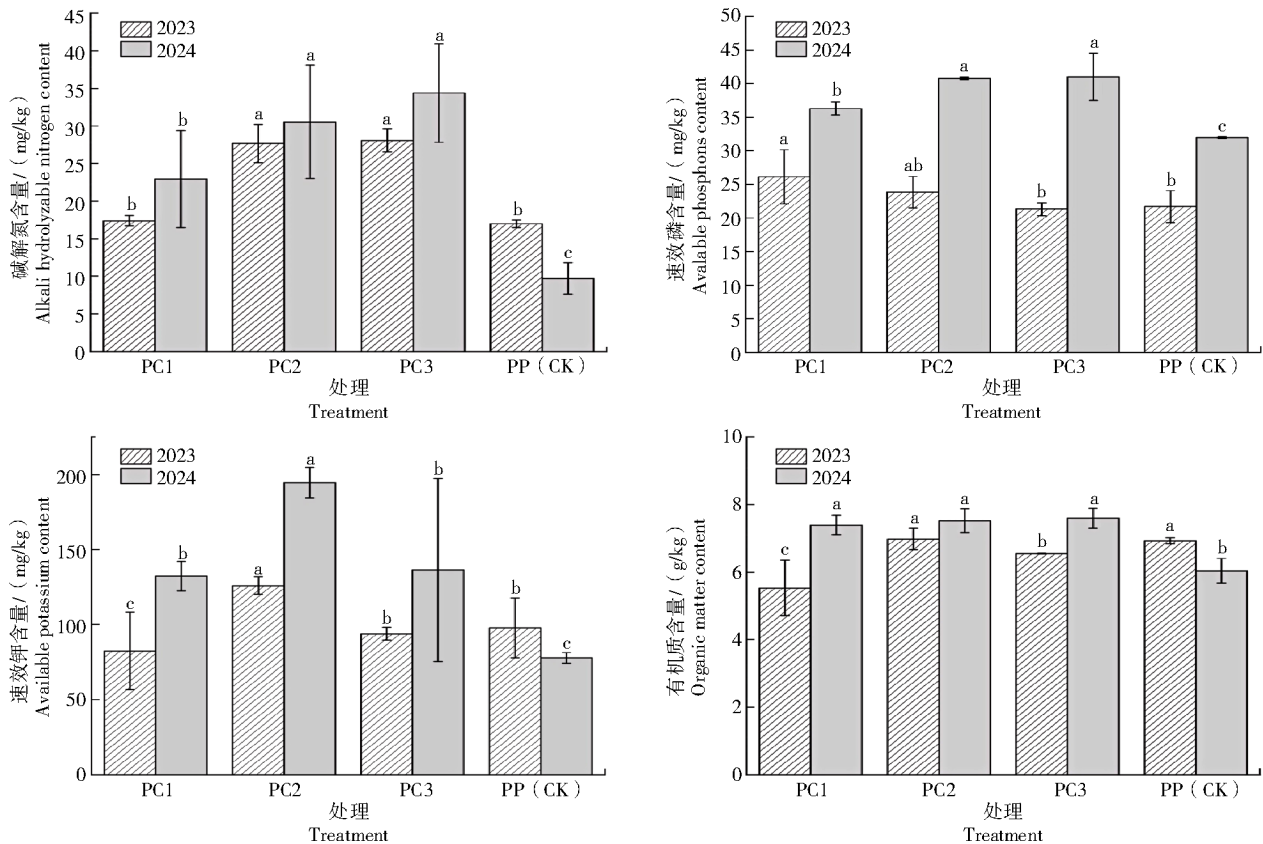
2 结果与分析

2.1 花生玉米间作轮作对土壤养分的影响

间作与轮作会对其根际土壤中的氮、磷、钾以

及有机质的含量产生影响。从图2可以看出,花生玉米间作与轮作对其根际土壤中的养分影响比花生连作显著($P<0.05$),花生玉米间作与轮作对其根际土壤中的养分影响比花生玉米间作显著($P<0.05$)。在间作与轮作中碱解氮含量均高于连作,PC3处理下间作与轮作含量最高,分别为28.09、34.40 mg/kg;在轮作中速效磷含量均高于间作与连作,PC2、PC3处理轮作下分别为40.81、41.04 mg/kg;在间作与轮作中速效钾含量在PC2

处理下最高,分别为125.93、194.4 529 mg/kg;有机质含量在轮作下显著高于间作与连作($P<0.05$),PC3处理下轮作的有机质含量最高,为7.60 g/kg。结果表明,花生玉米间作下根际土壤中的碱解氮、速效磷、速效钾均有显著提升,花生在轮作下根际土壤中碱解氮、速效磷、速效钾、有机质含量显著高于间作与连作,说明轮作能显著提升根际土壤中的养分含量。



不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。图3同

Different lowercase letters indicated significant differences among the different treatments. The same as Fig.3 .

图2 不同处理下作物根际土壤养分含量

Fig.2 Nutrient content of rhizosphere soil under different treatments

2.2 花生玉米间作与间轮作对土壤酶活性的影响

间作较单作能显著提升根际土壤的脲酶活性和磷酸单酯酶活性。由图3可知,花生玉米轮作对其根际土壤中过氧化氢酶、磷酸单酯酶、纤维素酶和脲酶活性的提升效果显著高于花生玉米间作与花生连作($P<0.05$),花生玉米间作对其根际土壤中纤维素酶和脲酶活性的提升效果显著高于花生连作($P<0.05$)。过氧化氢酶活性在轮作下显著高于间作与连作($P<0.05$),在PC2处理下最高,

为0.37 mL/(g·min);在轮作下磷酸单酯酶活性显著高于间作与连作($P<0.05$),PC3处理下活性最高,为0.10 mg/(g·h);纤维素酶活性在间作与轮作下均显著高于连作($P<0.05$),在PC2处理下最高,分别为0.22、0.31 mg/(g·h);在间作与轮作下脲酶活性均显著高于连作($P<0.05$),PC2处理下最高,分别为15 979.17、36 250.00 mg/(g·h)。结果表明,花生玉米间作对其根际土壤中纤维素酶和脲酶活性的影响最为显著,花生玉米轮作对其根

际土壤中 4 种酶活性均有积极影响,说明轮作对根

际土壤中酶活性影响高于间作与连作。

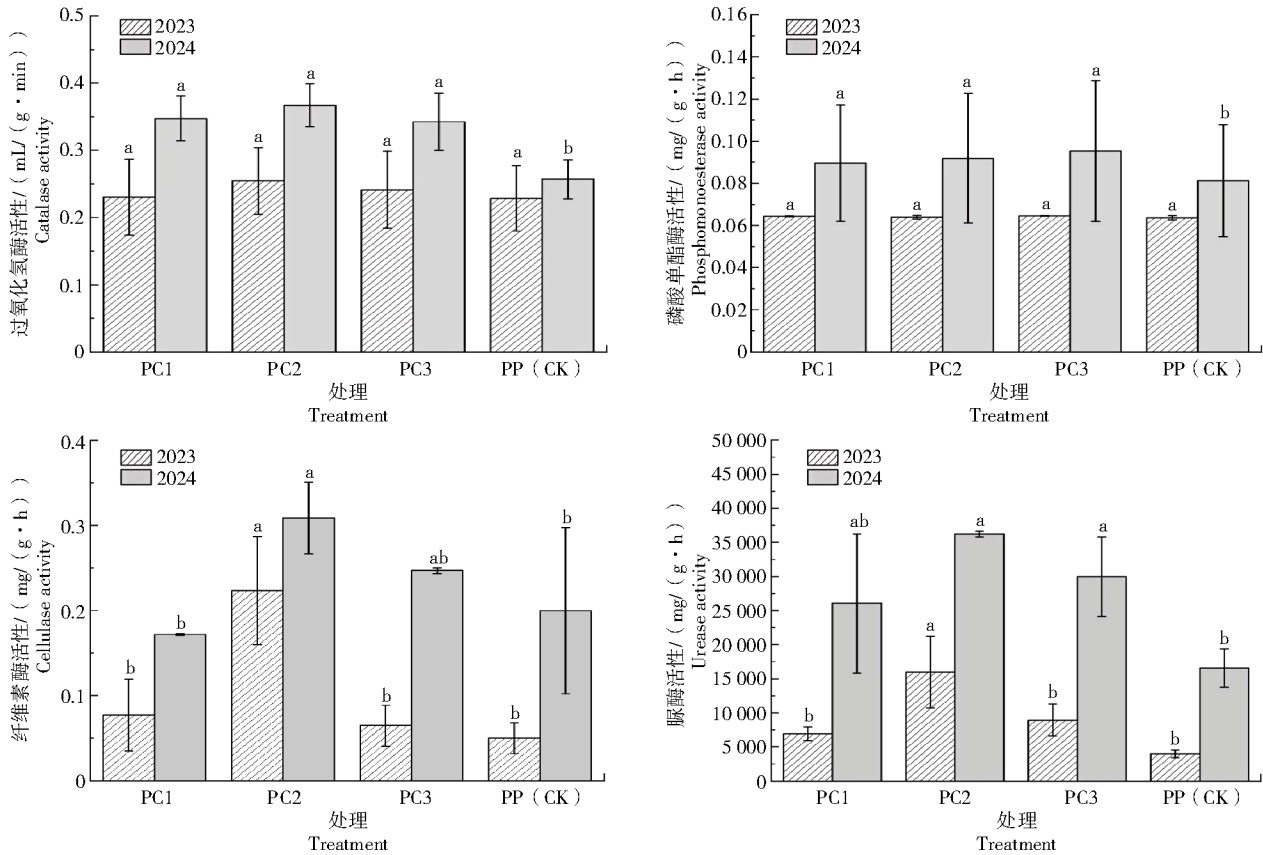


图3 不同处理下作物根际土壤酶活性比较

Fig.3 Comparison of enzyme activity in rhizosphere soil of crops under different treatments

2.3 不同生长期下土壤养分与酶活性的相关性分析

从表1可以看出,在花生结荚期碱解氮、速效钾、有机质含量与过氧化氢酶、脲酶活性呈显著或极显著正相关($P<0.05$ 或 $P<0.01$);在花生收获

期速效磷含量与纤维素酶、脲酶活性呈显著正相关($P<0.05$),速效钾含量与纤维素酶活性呈显著正相关($P<0.05$)。表明土壤中养分含量与酶活性存在着一定的联系。

表1 不同生长期下土壤养分与酶活性的相关系数

Tab.1 Correlation coefficients between soil nutrients and enzyme activity at different growth stages

时期 Stage	指标 Index	碱解氮 Alkali hydrolyzable nitrogen	速效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium	有机质 Organic matter
结荚期 Pod-setting stage	过氧化氢酶	0.900*	0.500	1.000**	0.900*
	磷酸单酯酶	0.300	-0.200	0.400	0.300
	纤维素酶	0.700	0.700	0.600	0.700
	脲酶	1.000**	0.800	0.900*	1.000**
收获期 Harvest stage	过氧化氢酶	0.763	0.872	0.308	0.564
	磷酸单酯酶	0.462	0.200	-0.300	0.700
	纤维素酶	0.205	0.900*	0.900*	-0.100
	脲酶	0.718	0.900*	0.500	0.500

注:Spearman显著性差异在 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 的水平上分别用*、**标注。

Note: The significant differences of Spearman were marked with * and ** at the levels of $P<0.05$ and $P<0.01$ respectively.

2.4 花生玉米间作带宽对产量及经济效益的影响

结合 2024 年辽宁省市场平均价格,花生为 6.97 元/kg,玉米为 2.32 元/kg,核算单位面积产值。从表 2 可以看出,花生玉米在 PC1、PC2、PC3 处理下间作与轮作的经济效益均高于花生连作

PP,其中 PC2 处理下的经济效益最高,2 a 分别为 36 370.5、39 759.0 元/hm²,说明花生玉米间作与轮作在带宽 6 m(PC2)下能够明显提高产量和经济效益,是适宜花生玉米间作轮作的最优带宽。

表 2 不同带宽配置对产量及经济效益的影响
Tab.2 The impact of different bandwidths on yield and economic benefitss

年份 Year	处理 Treatment	花生产量/(kg/hm ²) Peanut yield	玉米产量/(kg/hm ²) Maize yield	经济效益/(元/hm ²) Economic benefits
2023	PC1	4 251.0	13 251.0	30 186.0
	PC2	5 110.5	16 000.5	36 370.5
	PC3	4 699.5	15 712.5	34 605.0
	PP(CK)	3 547.5		24 876.0
2024	PC1	4 407.0	14 451.0	32 122.5
	PC2	5 500.5	17 749.5	39 759.0
	PC3	5 001.0	17 251.5	37 440.0
	PP(CK)	3 888.0		27 099.0

注:市场平均价格来源于辽宁省农业农村厅;经济效益=产量×单价(花生+玉米)。

Note: The average market price source was from Liaoning Provincial Department of Agriculture and Rural Affairs; Economic benefit=yield×unit price(peanuts+maize).

3 结论与讨论

土壤中的氮、磷、钾对于维持土壤养分平衡以及促进植物生长发育起着至关重要的作用。土壤有机质是土壤养分的物质基础和重要组成部分,在调节肥力、改善结构等方面具有重要作用^[15]。本试验中,花生玉米间作显著提升了根际土壤的碱解氮、速效磷和速效钾含量,这与王鹏等^[16]研究发现的“桔梗与大葱间作可提高土壤的有效氮、有效磷含量”,以及刘亚军等^[17]观察到的“马铃薯与蚕豆、荞麦间作提升了土壤碱解氮和速效钾”的结果一致,表明间作能有效增强土壤肥力和养分供给能力。此外,本试验数据显示,花生玉米间作轮作模式下根际土壤中碱解氮、速效磷、速效钾及有机质含量,均显著高于花生连作处理。这与赵春夺等^[18]的“轮作可提升烟草根际土壤的全氮、速效钾及有机质含量”的结论一致。杨菲等^[19]研究发现,棉花与花生间作可显著提升土壤的有机质、全氮、有效磷和速效钾含量。TANG 等^[20]针对木薯花生间作系统的研究显示,该模式能显著提高土壤速效钾含量、pH 值及脲酶活性,这与前述研究结果形成一致性结论,共同表明间作轮作模式对土壤养分环境的优化作用。进一步验证了间作模式在提

升土壤养分方面的积极作用,也证明了花生玉米轮作对土壤中碱解氮、速效磷、速效钾、有机质含量的影响比间作显著。间作轮作下花生和玉米根系对土壤中养分进行交替吸收,有利于养分含量的增加。

土壤酶参与土壤养分循环代谢,其酶促反应的活性高低能够反映土壤肥力状况,对植物营养物的吸收有着直接或间接的影响^[21]。本研究表明,花生玉米间作对其根际土壤中纤维素酶和脲酶活性的影响最为显著,这与詹柳琪等^[22]的研究结果一致。花生玉米间轮作对其根际土壤中的 4 种酶活性均有积极影响,与张广彩等^[23]研究发现的“油菜花生轮作模式提高 0~20 cm 土层土壤过氧化氢酶和脲酶活性”基本一致。由于在花生玉米间作轮作下,花生玉米的根系分泌物相互作用效率高于花生玉米间作和花生连作,所以,对根际土壤中酶活性的提升效果显著。

土壤养分与酶活性密切相关,二者相互影响、相互作用,共同维系土壤生态系统的功能^[24]。本研究结果表明,在花生结荚期与收获期过氧化氢酶、纤维素酶、脲酶对土壤养分均达显著或极显著水平,与莫晶等^[25]在茶油花生间作中发现“脲酶活性与速效磷和速效钾呈显著正相关,过氧化氢酶活

性与速效钾存在显著正相关”的结论有相似之处,说明在玉米花生间作中速效钾的提升有利于脲酶和过氧化氢酶活性的改善,进而保护作物的生长。土壤酶活性与养分的显著相关性,反映了花生不同生长期对土壤养分的需求差异,因此,可以作为判断植物生长过程中对土壤养分吸收状况的重要依据。

从经济效益来看,花生玉米间作与轮作下的经济效益均高于花生连作,其中 PC2 处理下间作与轮作的经济效益最高,分别为 36 370.5、39 759.0 元/hm²,说明花生玉米间作轮作在带宽 6 m(PC2)下能够明显提高产量和经济效益,是适宜花生玉米间作的最优带宽。

通过分析花生玉米间作轮作模式下根际土壤养分、酶活性及不同带宽对作物产量和经济效益的影响发现,间作轮作模式对土壤养分的优化及转化效应存在差异,且对土壤酶活性的提升作用各有特点。其中,轮作对土壤养分和酶活性的改善效应最为突出,是缓解花生连作障碍的理想种植模式;不同带宽处理下,花生玉米间作轮作的作物产量及经济效益差异显著,6 m 带宽处理对作物产量及经济效益的提升效果最为显著。因此,花生玉米在带宽 6 m 下轮作是有效缓解花生连作障碍问题,也与农机发展需求高度契合。

参考文献:

- [1] 贾微,孙占祥,白伟,等. 科尔沁沙地南缘旱作农田不同作物配置土壤水分效应及作物响应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(2): 91-98.
JIA W, SUN Z X, BAI W, et al. Soil water content and crop response under intercropping of different crops in dry farmland of the Southern Kerqin sandy land[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2014, 32(2): 91-98.
- [2] 舒心心. 新时代科尔沁沙地生态恢复路径探究[J]. 北方民族大学学报(哲学社会科学版), 2019(4): 44-49.
SHU X X. Path of ecological restoration of horqin sandy land in the new era[J]. Journal of North Minzu University (Philosophy and Social Science), 2019(4): 44-49.
- [3] 高传俊,杨晨曦,高欣,等. 种植模式对科尔沁沙地土壤微生物群落的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2023, 37(4): 162-169.
GAO C J, YANG C X, GAO X, et al. Effects of cropping patterns on soil microbial communities in Kerchin sandy land[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2023, 37(4): 162-169.
- [4] 孙子欣,蔡柏岩. 连作对土壤微生物菌群影响及修复研究进展[J]. 作物杂志, 2022(6): 7-13.
SUN Z X, CAI B Y. Research advances on the effects of continuous cropping on soil microbial community and restoration techniques[J]. Crops, 2022(6): 7-13.
- [5] 程亮,贾振东,黄慧,等. 花生/玉米间作对花生生长发育的影响[J]. 贵州农业科学, 2019, 47(6): 30-32.
CHENG L, JIA Z D, HUANG H, et al. Effect of peanut-maize intercropping on peanut growth and development[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2019, 47(6): 30-32.
- [6] 高砚亮,孙占祥,白伟,等. 辽西半干旱区玉米与花生间作对土地生产力和水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(19): 3702-3713.
GAO Y L, SUN Z X, BAI W, et al. Productivity and water use efficiency of maize-peanut intercropping systems in the semi-arid region of western Liaoning province[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(19): 3702-3713.
- [7] 郝娜,武志海,张立祯,等. 向日葵与蚕豆和马铃薯间作对作物产量和水分利用效率的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2018, 40(6): 666-674.
HAO N, WU Z H, ZHANG L Z, et al. Effects of sunflower intercropping with fababean and potato on crop yield and water use efficiency[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2018, 40(6): 666-674.
- [8] 张德,龙会英,金杰,等. 豆科与禾本科牧草间作的生长互作效应及对氮、磷养分吸收的影响[J]. 草业学报, 2018, 27(10): 15-22.
ZHANG D, LONG H Y, JIN J, et al. Effects of growth interaction effect of Leguminous and Gramineous pasture intercropping and absorption of nutrient and phosphorus on pasture expression[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2018, 27(10): 15-22.
- [9] 张智晖. 玉米/大豆间作模式对土壤酶活性及土壤养分的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(16): 9706-9707.
ZHANG Z H. The effect of maize/soybean intercropping mode on soil enzyme activity and soil nutrients[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(16): 9706-9707.
- [10] LI Q S, WU L K, CHEN J, et al. Biochemical and microbial properties of rhizospheres under maize/peanut intercropping[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016, 15(1): 101-110.
- [11] 刘均霞,陆引罡,远红伟,等. 玉米、大豆间作对根际土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. 贵州农业科学, 2007, 35(2): 60-61.
LIU J X, LU Y G, YUAN H W, et al. Effects of intercrop maize and soybean on rhizosphere soil microbes and enzyme activity[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2007, 35(2): 60-61.
- [12] 唐秀梅,黄志鹏,吴海宁,等. 玉米/花生间作条件下土壤环境因子的相关性和主成分分析[J]. 生态环境学报, 2020, 29(2): 223-230.
TANG X M, HUANG Z P, WU H N, et al. Correlation and principal component analysis of the soil environmental factors in corn/peanut intercropping system[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2020, 29(2): 223-230.
- [13] 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.
- [14] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京:农业出版社, 1989.
GUAN S Y. Soil enzymes and their research methods[M]. Beijing: Agricultural Press, 1989.

- [15] 朱永青,崔云霞,李伟迪,等. 太渴河流域不同用地方式下土壤pH值、有机质及氮磷含量特征分析[J]. 生态与农村环境学报, 2020, 36(2): 171-178.
ZHU Y Q, CUI Y X, LI W D, et al. Analysis of soil pH, organic matter, nitrogen and phosphate characteristics under different land use types in taige canal valley[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2020, 36(2): 171-178.
- [16] 王鹏,祝丽香,陈香香,等. 桔梗与大葱间作对土壤养分、微生物区系和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(3): 668-675.
WANG P, ZHU L X, CHEN X X, et al. Effects of *Platycodon grandiflorum* and *Allium fistulosum* intercropping on soil nutrients, microorganism and enzyme activity[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2018, 24(3): 668-675.
- [17] 刘亚军,李越,马琨,等. 马铃薯与蚕豆、荞麦间作对土壤的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(21): 79-83.
LIU Y J, LI Y, MA K, et al. Effects of potato intercropping with broad bean and buckwheat on soil[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(21): 79-83.
- [18] 赵春夺,李玉娥,刘友杰,等. 轮作与连作对烟草根际土壤养分、酶活性及微生物群落结构的影响[J]. 生物技术通报, 2025, 41(4): 312-322.
ZHAO C D, LI Y E, LIU Y J, et al. Effects of rotating cropping and continuous cropping on soil nutrients, enzyme activities and microbial community structure of rhizosphere soil in tobacco[J]. Biotechnology Bulletin, 2025, 41(4): 312-322.
- [19] 杨菲,刘霞,李海涛,等. 不同花生棉花间作配比下的土壤养分、作物产量和收益研究[J]. 山东农业科学, 2021, 53(8): 33-36.
YANG F, LIU X, LI H T, et al. Effects of peanut-cotton intercropping ratio on soil nutrient, crop yield and income[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2021, 53(8): 33-36.
- [20] TANG X M, ZHONG R C, JIANG J, et al. Cassava/peanut intercropping improves soil quality *via* rhizospheric microbes increased available nitrogen contents[J]. BMC Biotechnology, 2020, 20(1): 13.
- [21] 徐胜涛,何翔,杨佩文,等. 不同海拔高度下香蕉园土壤理化性质及果实品质的变化[J]. 西南农业学报, 2020, 33(6): 1215-1220.
XU S T, HE X, YANG P W, et al. Variation of soil physico-chemical properties and fruit quality at different altitudes of banana plantation[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(6): 1215-1220.
- [22] 詹柳琪,郭陞垚,黄佳华,等. 花生玉米间作对土壤酶活性、养分及作物产量的影响[J]. 福建农业学报, 2022, 37(8): 985-994.
ZHAN L Q, GUO S Y, HUANG J H, et al. Crop yield, rhizosphere enzyme activity, and soil fertility as affected by peanut/maize intercropping[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2022, 37(8): 985-994.
- [23] 张广彩,李菁,梁兆君,等. 不同花生轮作模式对土壤酶活性的影响[J]. 花生学报, 2024, 53(3): 21-27.
ZHANG G C, LI J, LIANG Z J, et al. The impact of different peanut crop rotation patterns on soil enzyme activity[J]. Journal of Peanut Science, 2024, 53(3): 21-27.
- [24] 陈思宇,汪灿,彭方丽,等. 糯高粱与大豆间作模式下不同带宽配置对糯高粱根际土壤特性及产量的影响[J]. 西南农业学报, 2023, 36(9): 1890-1897.
CHEN S Y, WANG C, PENG F L, et al. Effects of different bandwidth configurations on rhizosphere soil characteristics and yield of waxy sorghum with sorghum-soybean intercropping pattern[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2023, 36(9): 1890-1897.
- [25] 莫晶,闫文德,刘曙光,等. 油茶—花生间作土壤酶活性与养分的关系[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(6): 89-95.
MO J, YAN W D, LIU S G, et al. Soil enzyme activities and their relations with soil fertility in *Camellia oleifera* peanut intercropping[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2017, 37(6): 89-95.