

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.

花生玉米间作对土壤酶活性、养分及作物产量的影响

詹柳琪, 郭陞垚, 黄佳华, 龙 安, 陈剑洪*

(泉州市农业科学研究所, 福建 泉州 362212)

摘 要:【目的】研究花生玉米间作对土壤酶活性、养分及作物产量的影响。【方法】采用大田试验的方法, 以泉花 557 及雪甜 7401 为材料, 在不同生育时期, 测定花生单作、玉米单作和花生玉米间作根际土壤养分含量和酶活性的变化规律, 并进行相关性分析。【结果】(1) 在花生开花下针期和结荚期, 花生玉米间作处理作物根际土壤脲酶活性分别比花生单作提高 4.7% 和 5.0%, 分别比玉米单作提高了 2.6% 和 4.3%。(2) 在花生苗期、开花下针期及花生成熟期, 间作处理作物根际土壤酸性磷酸酶活性分别比花生单作提高 8.0%、13.0% 和 34.7%, 分别比玉米单作提高 11.1%、19.6% 和 6.4%。(3) 在花生苗期、开花下针期、结荚期及花生成熟期, 花生玉米间作处理作物根际土壤蔗糖酶活性分别比花生单作提高 1.5%、21.5%、11.2% 和 6.4%, 分别比玉米单作提高了 46.4%、33.8%、27.3% 和 11.1%。(4) 在花生成熟期时, 间作根区土壤的碱解氮和速效钾含量分别比玉米单作提高 15.11% 和 5.66%, 碱解氮、有效磷和速效钾含量分别比花生单作提高了 3.42%、13.17% 和 11.39%。(5) 相关性分析结果表明, 在花生开花下针期, 碱解氮与酸性磷酸酶、蔗糖酶存在显著正相关关系 ($P < 0.05$), 有效磷与酸性磷酸酶、蔗糖酶存在显著正相关关系 ($P < 0.05$); 在花生结荚期, 碱解氮与蔗糖酶存在显著正相关关系 ($P < 0.05$); 速效钾与酸性磷酸酶存在显著正相关关系 ($P < 0.05$); 在花生成熟期, 速效钾与过氧化氢酶存在显著正相关关系 ($P < 0.05$)。 (6) 花生玉米间作的经济收益为 48 217.50 元·hm⁻², 分别比花生单作和玉米单作的收益增加 8 842.50 元·hm⁻² 和 3 157.50 元·hm⁻²。【结论】花生玉米间作可以改善两种作物根际土壤酶活性和养分状况, 并能提高经济效益。

关键词: 花生; 玉米; 间作; 酶活性; 养分

中图分类号: S 565.2

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2022) 08-0985-10

Crop Yield, Rhizosphere Enzyme Activity, and Soil Fertility as Affected by Peanut/Maize Intercropping

ZHAN Liuqi, GUO Shengyao, HUANG Jiahua, LONG An, CHEN Jianhong*

(Quanzhou Institute of Agricultural Sciences, Quanzhou, Fujian 362212, China)

Abstract: 【Objective】 Effects of peanut/maize intercropping on crop yield, rhizosphere enzyme activity, and nutrients in soil were studied. 【Method】 In a field experiment, Quanhua 557 peanut and Xuetian 7401 maize plants were cultivated either separately or under intercropping. The resulting crop yields as well as the nutrient content and enzyme activity in the rhizosphere soils were monitored at different growth stages of peanut monoculture, maize monoculture and peanut/maize intercropping for a correlation analysis. 【Result】 (1) In comparison with monoculture, peanut intercropped with maize raised the rhizosphere urease activity by 4.7% at peanut flowering stage, and by 5.0% at pod setting stage. For maize, the increases at the stages were 2.6% and 4.3%, respectively. (2) During seedling, flowering/needle setting, and maturation of the peanut plants, the acid phosphatase activities in soil were 8.0%, 13.0%, and 34.7%, respectively, higher under intercropping than monoculture. For maize, the activities rose by 11.1%, 19.6%, and 6.4%, respectively. (3) In the seedling, flowering/needle setting, pod setting, and maturation of peanut plants, the invertase activity in soil increased 1.5%, 21.5%, 11.2%, and 6.4%, respectively, by the intercropping. In those stages of maize plants, the increases were 46.4%, 33.8%, 27.3%, and 11.1%, respectively. (4) At peanut maturation, the contents of alkali hydrolyzable nitrogen and available potassium in the intercropped

收稿日期: 2022-01-21 初稿; 2022-07-12 修改稿

作者简介: 詹柳琪 (1989-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 花生育种与土壤肥料 (E-mail: qzcathy@qq.com)

* 通信作者: 陈剑洪 (1972-), 男, 研究员, 研究方向: 花生育种 (E-mail: quanhua0595@163.com)

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-13); 福建省科技计划星火项目 (2021S0031); 泉州市科技计划项目 (2020C065)

rhizosphere soil were 15.11% and 5.66%, respectively, higher than those of maize monoculture, while the contents of alkali hydrolyzable nitrogen, available phosphorus, and available potassium 3.42%, 13.17%, and 11.39%, respectively, higher than those of monoculture. (5) A significant correlation existed between the alkali hydrolyzable nitrogen and the activities of acid phosphatase and sucrase, as well as between the available phosphorus and the activities of acid phosphatase and sucrase, in soil when the peanut plants were flowering and needle setting ($P < 0.05$). At the pod setting stage, it was one between the alkali hydrolyzable nitrogen and the invertase activity ($P < 0.05$), and another between the available potassium and the acid phosphatase ($P < 0.05$). At maturity of peanut, available potassium in the rhizosphere soil correlated significantly with catalase activity ($P < 0.05$). (6) The intercropping generated 48 217.50 yuan·hm⁻² in revenue, which was 8 842.50 yuan·hm⁻² more than the peanut monoculture or 3 157.50 yuan·hm⁻² more than the maize monoculture. 【Conclusion】 The peanut/maize intercropping significantly increased the enzyme activity and nutrient contents in the rhizosphere soil as well as the economic return over monoculture of either crop.

Key words: Peanuts; maize; intercropping; enzyme activity; nutrient

0 引言

【研究意义】间作套种是一种常见的农业耕作方式,通过集合光、水、肥、气、热等资源,引起土壤物理、化学和生物学性状的变化,改善土壤养分及酶活性,从而提高养分利用效率,对作物生长有着积极促进作用,可提高农作物产量和经济效益^[1-3]。

【前人研究进展】间作能够使土壤的酶活性及养分得到改善^[4-5]。在玉米与大豆间作体系中,间作根际土壤的有效性养分、酶活性均能明显高于相应的单作^[6]。刘均霞等^[7-9]通过玉米-大豆进行间作,表明间作作物的土壤酶活性可显著高于相应单作作物,根际土壤养分有效性在相同环境下高于单作。Tang 等^[10]通过甘蔗/花生间作试验,发现间作能够提高总氮、速效磷、总钾、有机质、pH 值和细菌含量,提高酸性磷酸酶活性。福建省人多地少,花生玉米间作是较为常见的种植栽培模式,两作物之间通过地上植株部分和地下土壤部分两种相互作用同时进行,地上植株部分主要是包括光热环境相互竞争及补偿作用,通过错落高低层次,增加边际效用,提高光合作用;地下部则是通过种间土壤根际竞争和促进作用,使二者间作取得生产优势^[11-14]。Inal 等^[15]研究结果表明,在花生玉米间作中,根际土壤的酸性磷酸酶活性和根系分泌的酸性磷酸酶显著高于单作花生和玉米。研究表明^[16-18],花生玉米间作模式能够改良土壤微生物、土壤养分状况及土壤微生态环境,提高耕层土壤水分含量。【本研究切入点】目前关于花生玉米研究主要是探讨一个时期两种作物之间的养分及活性,而对两种间作作物不同生长期的养分及酶活性的研究较少。【拟解决的关键问题】通过大田试验,以花生玉米间作模式为基础,测定不同生长期根际土壤的酶活性及养分,以期对花生玉米间作生产技术奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验地点及材料

试验地选在惠安县庄上村坤德农场试验地(25°08'N, 118°81'E)进行,该地属于亚热带季风气候,年均气温 16~21℃,冬季盛行东北风,夏季盛行西南风。降水主要集中在春夏季,降水量约在 1 000 mm,夏长冬短。试验地土壤为砂壤土,碱解氮 45 mg·kg⁻¹,有效磷 34 mg·kg⁻¹,速效钾 67.5 mg·kg⁻¹,土壤 pH 值 6.57。供试花生品种为泉花 557,由泉州市农业科学研究所选育;玉米品种为雪甜 7401,由福州金苗种业有限公司提供。

1.2 试验设计

2021 年 3 月,选择地力相对均一的田块进行,共分为花生单作、玉米单作、花生玉米间作 3 种植模式。花生单作,采用 0.8 m 包沟起畦,畦植 2 纵行,行距 30 cm,穴距为 16.5 cm,每穴种植 2 粒,折合 288 000 株·hm⁻²;玉米单作,采用育苗移栽方式定距种植,行距 30 cm,穴距为 19.8 cm,折合 160 000 株·hm⁻²;花生玉米间作,采用 6:6 的花生玉米行距配比进行间作带状种植,种植方式如图 1 所示,种植方法、规格及密度同花生单作及玉米单作。每个处理重复 3 次,共 9 个小区,小区面积 5 m×6 m,四周设置保护行,采用完全随机区组排列。试验肥料全部作为基肥施入,各处理均施用阿康复合肥 [$m(N):m(P_2O_5):m(K_2O)=15:15:15$],每公顷施用 375 kg,生育期内不追肥。其他栽培管理措施同当地大田生产,3 种植模式的管理方式一致。

1.3 取样方法

在花生的 4 个生育期,包括花生苗期、开花下针期、结荚期及成熟期采样,采用抖土法将两种作物整个根系从土壤中挖出,并抖掉与根系相连松散大块土壤,后将根系紧密的根表土壤刷下作为根际

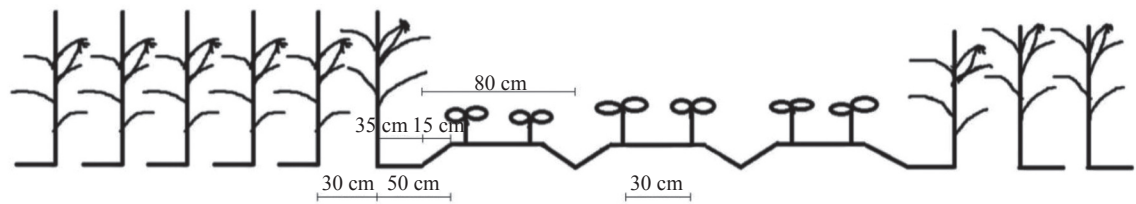


图 1 花生玉米间作种植示意图
Fig. 1 Schematic diagram of peanut/maize intercropping

土样。将田间取得的根际土样带回，挑出石块和植物残根等杂质，风干后过筛，进行土壤酶活性及养分测定。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 土壤酶活性测定 土壤脲酶活性、土壤蔗糖酶活性、土壤酸性磷酸酶及土壤过氧化氢酶活性分别采用苯酚钠-次氯酸钠比色法、3,5-二硝基水杨酸比色法、磷酸苯二钠比色法及高锰酸钾滴定法进行测定^[19]。

1.4.2 土壤养分测定 碱解氮含量用碱解扩散法测定；有效磷含量采用钼锑抗比色法测定；速效钾含量采用 NH₄OAc 浸提火焰光度计测定；pH 值采用酸度计、电位法测定^[20]。

1.4.3 产量测定 收获期测产，花生产量待花生晒干后测定；玉米产量为鲜重。

1.5 数据统计分析

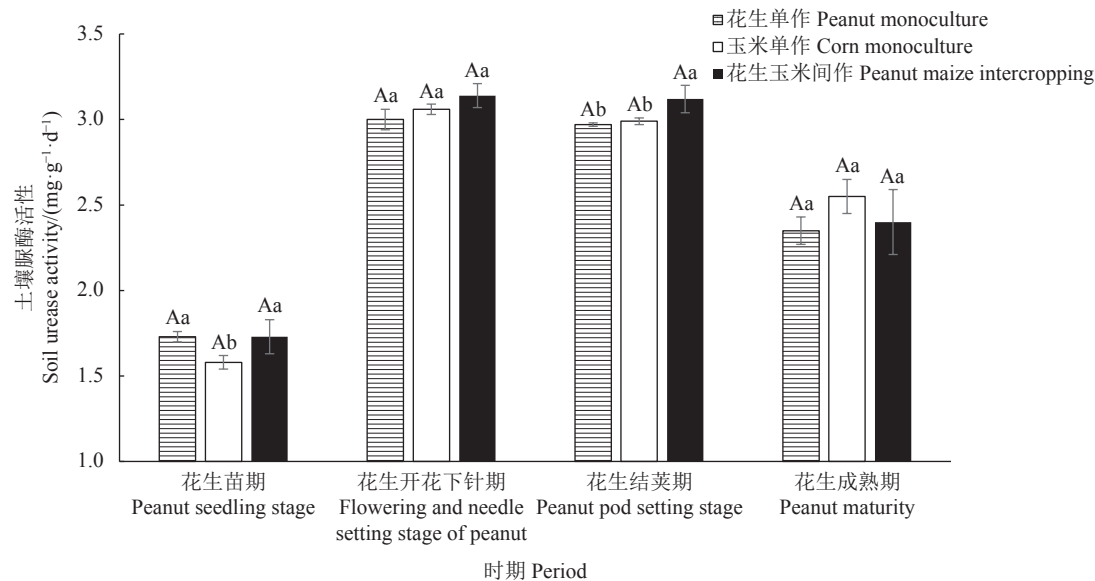
采用 WPS Office 软件进行数据整理，采用 DPS 7.05 进行数据统计分析，运用 LSD 法进行处理差异

性分析。

2 结果与分析

2.1 花生玉米间作对土壤酶活性的影响

2.1.1 不同时期花生玉米间作对土壤脲酶活性影响 土壤脲酶是土壤中能酶促土中尿素水解成氨的酶，且与土壤肥力及有机质含量密切关系，可灵敏反映土壤肥力水平状况，是土壤酶活性中重要的一部分^[21]。由图 2 可看出，从花生整个生育期来看，各个种植模式的土壤脲酶含量表现为先增加后下降的趋势，在花生开花下针期，各个种植模式的脲酶值含量均达到最高值。在花生开花下针期和结荚期，间作处理作物根际土壤脲酶活性分别比花生单作提高了 4.7% 和 5.0%，分别比玉米单作提高了 2.6% 和 4.3%，其中在花生结荚期，间作处理的脲酶活性值显著高于花生单作及玉米单作。可见，花生玉米间作系统下，由于作物间的相互作用，改变了土壤的环境，建立新的物质交换。



注：大写字母不同表示差异极显著 ($P<0.01$)，小写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。显著性分析为按各时期分析，下同。

Note: Different capital letters mean significant difference ($P<0.01$), and different lowercase letters mean significant difference ($P<0.05$). The significance analysis is based on the same period, and the following fig is the same.

图 2 不同时期花生玉米间作对土壤脲酶活性影响
Fig. 2 Effect of peanut/maize intercropping at different stages of plant growth on soil urease activity

2.1.2 不同时期花生玉米间作对土壤酸性磷酸酶活性影响 土壤磷酸酶来源于土壤微生物和植物根系,是催化土壤中磷酸单酯和磷酸二酯水解的酶,为植物提供可靠的磷素营养;可以评价土壤磷素生物转化强度及表征土壤的肥力状况^[22]。从图 3 可以看出,间作处理和玉米单作的酸性磷酸酶含量在整个生育期呈上升趋势,并在花生成熟期达到最高值,而花生单作的酸性磷酸酶含量表现为先增加后下降的趋势,在花生结荚期达到最高值。花生在结荚期时磷

素的需求量较大^[23],到成熟期需求量较低,可能对酸性磷酸酶活性的刺激较少,因此造成后期活性下降。在花生苗期、开花下针期及花生成熟期,间作处理作物根际土壤酸性磷酸酶活性分别比花生单作提高了 8.0%、13.0% 和 34.7%,分别比玉米单作提高了 11.1%、19.6% 和 6.4%,其中在花生开花下针期及花生成熟期,间作处理的酸性磷酸酶活性值极显著高于花生单作及玉米单作。

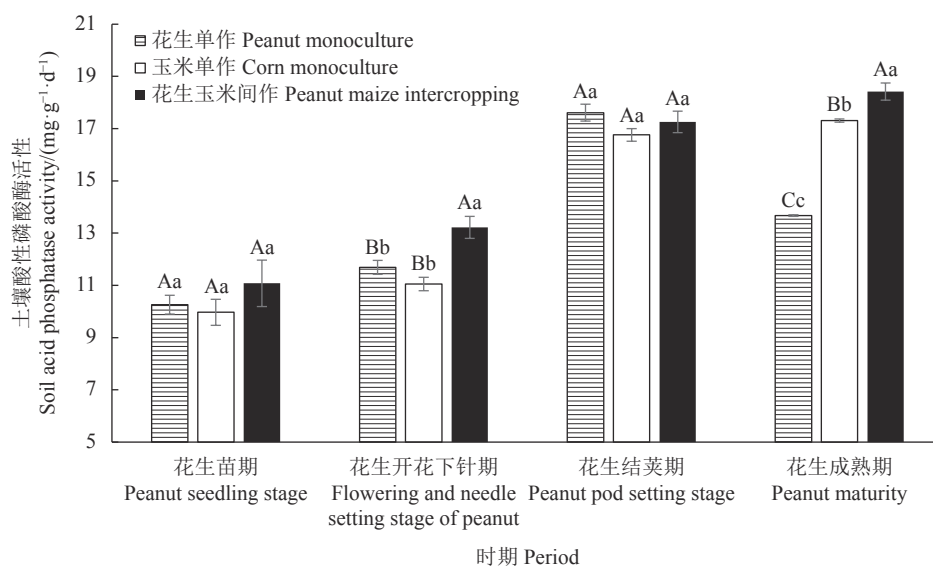


图 3 不同时期花生玉米间作对土壤酸性磷酸酶活性影响

Fig. 3 Effect of peanut/maize intercropping at different stages of plant growth on soil acid phosphatase activity

2.1.3 不同时期花生玉米间作对土壤蔗糖酶活性影响 土壤蔗糖酶是一种水解酶,可催化土壤中的蔗糖水解为单糖,是土壤中的微生物的能量来源,改善土壤的物理化学性状和微生物状态,提供良好的土壤环境促进作物生长^[24]。由图 4 可知,从花生整个

生育期来看,各个种植模式的蔗糖酶含量表现为先增加后下降的趋势,至开花下针期达到最高值。间作处理的根际土壤蔗糖酶活性在花生整个生育期均高于花生单作处理和玉米单作处理,在花生苗期、开花下针期、结荚期及花生成熟期,花生玉米间作

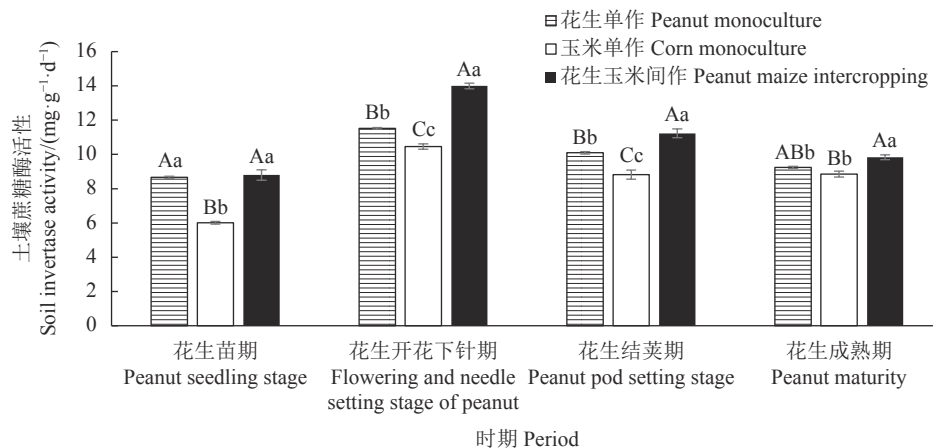


图 4 不同时期花生玉米间作对土壤蔗糖酶活性影响

Fig. 4 Effect of peanut/maize intercropping at different stages of plant growth on soil invertase activity

处理作物根际土壤蔗糖酶活性分别比花生单作提高了 1.5%、21.5%、11.2% 和 6.4%，分别比玉米单作提高了 46.4%、33.8%、27.3% 和 11.1%。其中在花生开花下针期及花生结荚期，间作处理的蔗糖酶活性值极显著高于花生单作及玉米单作。

2.1.4 不同时期花生玉米间作对土壤过氧化氢酶活性影响 土壤过氧化氢酶活性与根系呼吸强度密切相关，在一定程度上也反映了土壤微生物学过程的强

度，根系呼吸强度高是导致过氧化氢酶活性增加的重要原因^[25-26]。从图 5 可以看出，在花生开花下针期，各个种植模式的过氧化氢酶含量均达到最高值，其后呈下降趋势。间作处理根际土壤过氧化氢酶含量在花生整个生育期均高于花生单作和玉米单作处理，但只在花生成熟期，间作处理的过氧化氢酶活性值显著高于花生单作，其余时期均未有显著性差异。

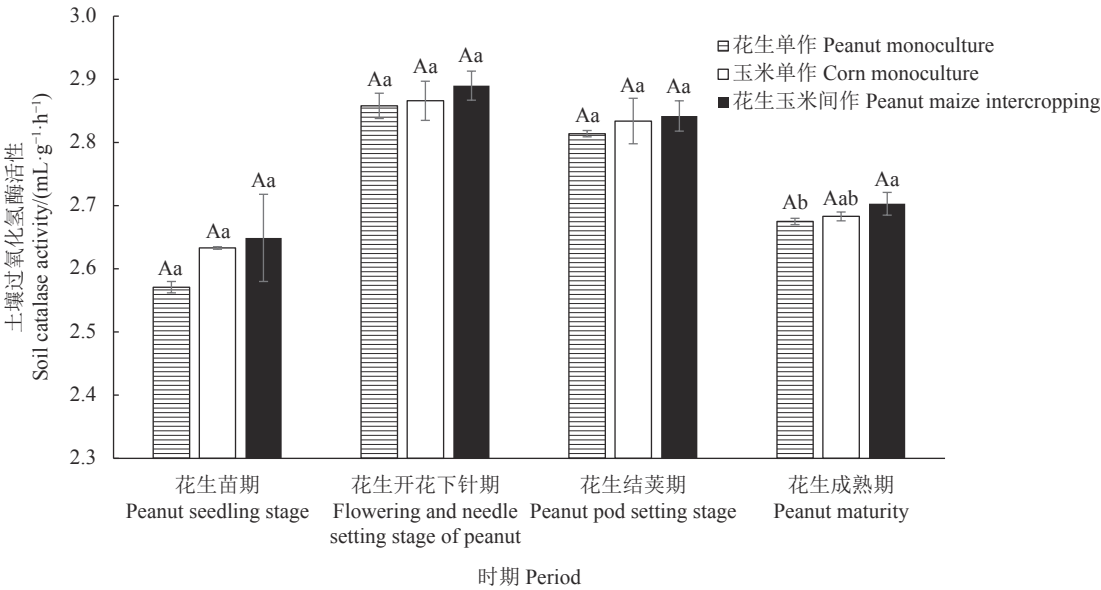


图 5 不同时期花生玉米间作对土壤过氧化氢酶活性影响

Fig. 5 Effect of peanut/maize intercropping at different stages of plant growth on soil catalase activity

2.2 花生玉米间作对土壤养分的影响

由图 6 可知，除花生苗期外，花生玉米间作根区土壤的碱解氮含量在其他 3 个生育期均高于花生单作处理和玉米单作处理，且在开花下针期达到最高值。在花生成熟期时，间作根区土壤的碱解氮

含量比玉米单作提高了 15.11%，呈极显著差异；比花生单作提高了 3.42%；说明花生玉米间作对作物根际土壤的氮素营养有一定的提高作用，间作作物的土壤根际效应有利于作物从土壤中吸取更多的养分。

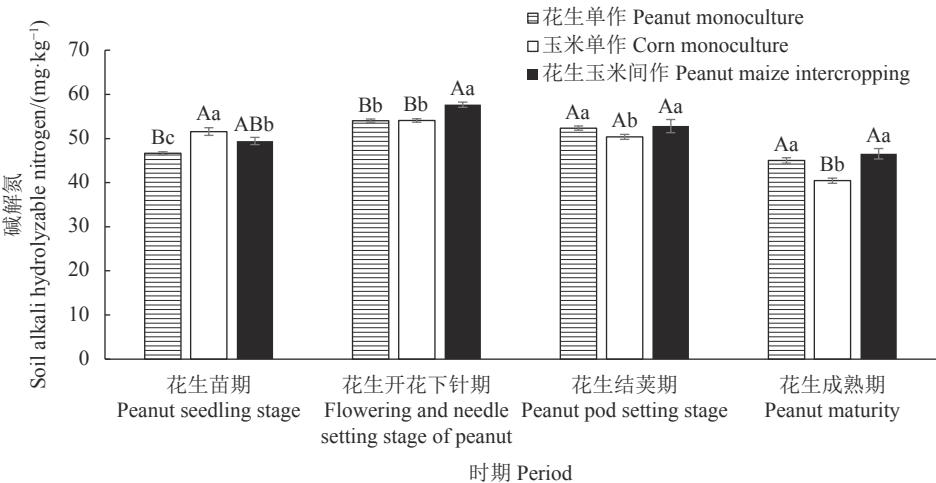


图 6 不同时期花生玉米间作对土壤碱解氮影响

Fig. 6 Effect of peanut/maize intercropping at different stages of plant growth on soil alkali hydrolyzable nitrogen

花生玉米间作根区土壤的有效磷含量在花生苗期、花生开花下针期、花生结荚期,均高于花生单作处理和玉米单作处理(图7)。由于玉米的生长期对磷素需求量比较大^[27],造成玉米单作的土壤有效

磷含量较低。在花生成熟期,间作根区土壤的有效磷含量比花生单作提高了13.17%,呈极显著差异;与玉米单作含量差异不显著。

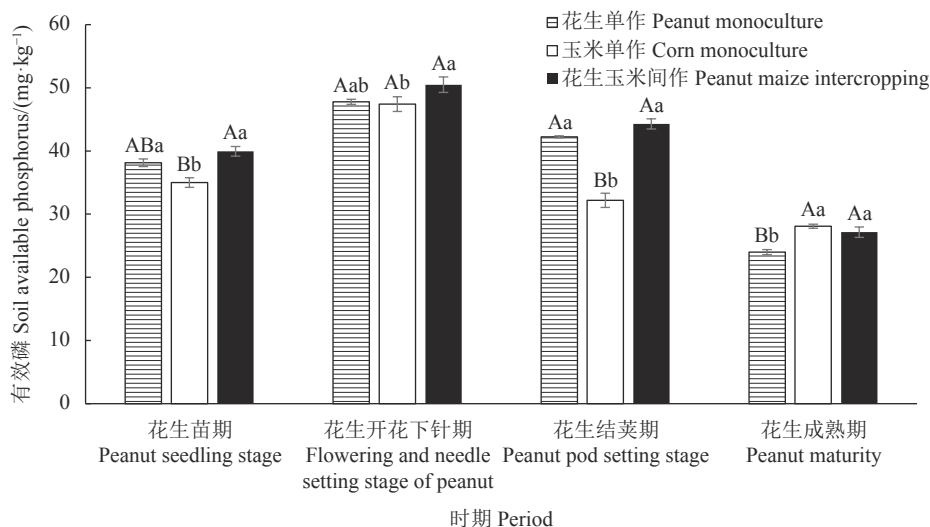


图7 不同时期花生玉米间作对土壤有效磷影响

Fig. 7 Effect of peanut/maize intercropping at different stages of plant growth on soil available phosphorus

在花生成熟期,间作根区土壤的速效钾含量比花生单作提高了11.39%,呈极显著差异;比玉米单

作提高了5.66%,呈极显著差异(图8)。说明花生玉米间作可改善作物根际的钾素营养状况。

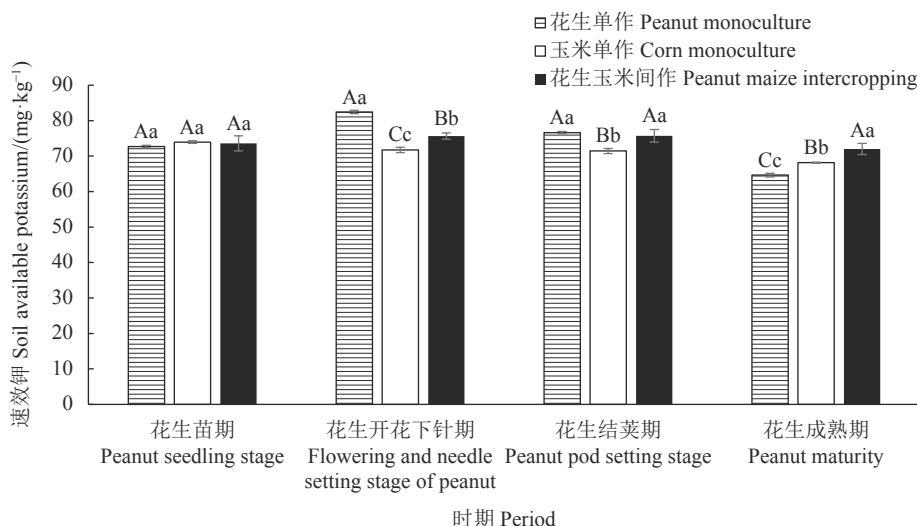


图8 不同时期花生玉米间作对土壤速效钾影响

Fig. 8 Effect of peanut/maize intercropping at different stages of plant growth on soil available potassium

2.3 不同时期土壤养分与酶活性的相关性分析

将花生玉米间作的不同时期土壤养分与土壤酶活性含量进行相关性分析,结果(表1)表明,在花生苗期土壤养分与土壤酶活性相关性弱。在花生开花下针期,碱解氮与酸性磷酸酶、蔗糖酶存在显著正相关关系($P < 0.05$);有效磷与酸性磷酸酶、蔗糖酶存在显著正相关关系($P < 0.05$)。在花生结

荚期,碱解氮与蔗糖酶存在显著正相关关系($P < 0.05$);速效钾与酸性磷酸酶存在显著正相关关系($P < 0.05$)。在花生成熟期,速效钾与过氧化氢酶存在显著正相关关系($P < 0.05$)。由此可见,在花生的不同生育期,土壤中养分含量与酶活性存在着一定的联系。

2.4 花生玉米间作对产量及经济效益的影响

花生玉米间作对产量及经济效益的影响见表2,

表 1 不同时期土壤养分与酶活性的相关性分析
Table 1 Correlation between soil nutrients and enzyme activities at different stages of plant growth

时期 Stage	项目 Item	脲酶 Soil urease activity	酸性磷酸酶 Soil acid phosphataseactivity	蔗糖酶 Soil invertase activity	过氧化氢酶 Soil catalase activity
花生苗期 Peanut seedling stage	碱解氮 Alkali hydrolyzable nitrogen	−0.825	−0.176	−0.801	0.809
	有效磷 Available phosphorus	0.932	0.913	0.946	0.031
	速效钾 Available potassium	−0.731	0.027	−0.702	0.888
花生开花下针期 Flowering and needle setting stage of peanut	碱解氮 Alkali hydrolyzable nitrogen	0.907	0.956*	0.954*	0.947
	有效磷 Available phosphorus	0.852	0.984*	0.983*	0.903
	速效钾 Available potassium	−0.562	0.135	0.140	−0.469
花生结荚期 Peanut pod setting stage	碱解氮 Alkali hydrolyzable nitrogen	0.546	0.826	0.952*	−0.133
	有效磷 Available phosphorus	0.529	0.837	0.946	−0.153
	速效钾 Available potassium	0.232	0.968*	0.794	−0.459
花生成熟期 Peanut maturity	碱解氮 Alkali hydrolyzable nitrogen	−0.884	−0.054	0.923	0.454
	有效磷 Available phosphorus	0.835	0.901	−0.105	0.563
	速效钾 Available potassium	0.212	0.947	0.621	0.980*

*为 $P<0.05$ ，**为 $P<0.01$ 。
*means $P<0.05$; **means $P<0.01$.

表 2 花生玉米间作对产量及经济效益的影响
Table 2 Effects of peanut/maize intercropping on crop yield and economic benefits

处理 Treatment	产量 Yield/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	单价 Unit Price/ ($\text{Yuan}\cdot\text{kg}^{-1}$)	效益 Benefit/ ($\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$)
单作花生（泉花557） Peanutmonoculture (Quanhua 557)	3937.50	10.00	39375.00
单作玉米（雪甜7401） Corn monoculture (Xuetian 7401)	9012.00	5.00	45060.00
间作花生（泉花557） Intercropping peanut (Quanhua 557)	1900.50	10.00	48217.50
间作玉米（雪甜7401） Intercropping corn (Xuetian 7401)	5842.50	5.00	

花生玉米间作的经济收益最高，为 48 217.50 元·hm^{−2}，每公顷比花生单作收益增加 8 842.50 元，增收 22.45%；每公顷比玉米单作收益增加 3 157.50 元，增收 7.0%。说明花生玉米间作能够明显提高经济效益。

3 讨论

土壤酶活性是生态物质循环中最活跃的物质，同时也参与生物能量流动过程，对土壤的代谢起重要作用。土壤酶直接参与了土壤的营养元素有效化

过程，一定程度上动态地反映土壤养分转化的过程，因此通过观察（检测）土壤酶的变化也能直接了解短期内的土壤变化状况^[28]。土壤酶对提高土壤肥力及改良土壤质量具有积极作用^[29]。本研究结果表明，花生玉米间作系统下，在一定的生长周期内，能不同程度地提高土壤中的脲酶、酸性磷酸酶、蔗糖酶活性；对过氧化氢酶的提升并不明显。通过分析认为，脲酶、酸性磷酸酶、蔗糖酶的提升，可能是由于间作系统中不同根系分泌物的相互

作用,使得土壤中加速释放酶。

有研究表明,间作系统可不同程度提高作物根际土壤养分的含量,能有效改善间作系统中土壤养分供应能力^[30-31]。刘亚军等^[32]研究表明,间作能显著增加土壤全氮、碱解氮、有效磷和有机质含量。王鹏等^[33]研究表明,间作提高了土壤有效氮、有效磷含量,提高土壤肥力和土壤有效养分供给量。Tang 等^[34]研究表明木薯/花生间作系统显著提高了速效氮、速效钾、pH 值和脲酶活性。间作通过增加根际微生物的数量来提高土壤的有效氮含量。本研究结果表明,花生玉米间作模式能够一定程度提高土壤碱解氮和速效钾的含量,可能是间作系统中,玉米根际对氮素的吸收能够刺激花生根际的固氮作用。而在花生苗期、开花下针期和结荚期,间作土壤的有效磷含量均高于花生单作和玉米单作,说明在一定的生长周期内,花生玉米间作能促进植物对养分的吸收。在花生玉米间作系统中,花生除了维持自己的营养需求之外,能通过根系作用,为玉米提供养分。

莫晶等^[35]在茶油-花生间作中发现土壤蔗糖酶活性与速效氮存在显著负相关;脲酶活性与速效磷和速效钾呈显著正相关,酸性磷酸酶活性与速效磷及速效钾均存在极显著正相关关系;过氧化氢酶活性与速效钾存在显著正相关。张艳等^[36]发现在甘薯-玉米间作中磷酸酶与速效磷呈极显著正相关;过氧化氢酶与碱解氮、速效钾呈极显著负相关;脲酶与碱解氮呈极显著负相关,与速效钾呈显著负相关。本研究结果部分结论与前人研究有相似之处。本研究中花生玉米间作系统下,在花生开花下针期,碱解氮与酸性磷酸酶和蔗糖酶存在显著正相关关系($P<0.05$),可能是因为蔗糖酶分解土壤中蔗糖,提供能量,改善土壤微生物状态,从而使得碱解氮有所提升。有效磷与酸性磷酸酶和蔗糖酶存在显著正相关($P<0.05$),酸性磷酸酶可催化土壤中磷酸单脂和磷酸二酯,从而提高土壤中磷素含量。速效钾与酸性磷酸酶和过氧化氢酶在花生结荚期和花生成熟期存在显著正相关($P<0.05$),可能速效钾的提升有利于改善过氧化氢酶的活性,从而减轻土壤受到毒害影响,保证作物的生长。土壤养分与土壤酶活性的显著相关,反映了种植环境作用下对土壤肥力细小的变化,因此土壤酶活性可用来判断土壤肥力的高低,是反映土壤质量的一项指标。

Tian 等^[37]在对大豆-甘蔗间作中发现,土壤根际酸性磷酸酶活性的提升,消耗了有机磷,使得作物能更好地吸收磷素,增加磷素利用效率。Ehrmann 等^[38]

对多作(间作)的研究中发现,植物-土壤系统之间相互作用通过植物种间竞争、病虫害衰减、土壤群落组成和结构、养分循环和土壤结构动力学表现出来。根际土壤酶活性的作用可以促进土壤养分的增加以及作物对养分的吸收。结合本研究,在作物生产系统中,植物-土壤养分-土壤酶之间存在相互促进、互利共赢的关系。植物通过光合作用及根系分泌物给土壤提供能量和创造适宜的土壤酶活性生存的环境;土壤酶活性与土壤养分之间又有着密切关系,土壤酶活性能促进养分循环利用的影响;土壤养分的提升有利于植物的生长。因此,间作模式有利于改善作物生产系统的生态环境,并提高作物产量。

从经济效益来看,花生玉米间作的经济收益最高,为 48 217.50 元·hm⁻²,每公顷比花生单作收益增加 8 842.50 元,增收 22.45%;每公顷比玉米单作收益增加 3 157.50 元,增收 7.0%。说明花生玉米间作能够明显提高经济效益。

4 结论

通过测定花生玉米间作不同生长期根际土壤的酶活性及养分,结果表明花生玉米间作能够改善土壤有效养分和转化能力,且在不同生长期能够一定程度提高土壤酶活性,同时花生玉米间作能够提高经济效益。由于本研究为大田试验,存在很多不可控制的因素,对各内在作用与机理不能进一步的研究,需在更系统且可控的条件下,进行深入研究;对于土壤中的微生物群组在花生玉米间作中发挥的作用有待进一步的研究。

参考文献:

- [1] 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. (in Chinese)
- [2] 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. (in Chinese)
- [3] 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. (in Chinese)
- [4] 耿广东, 王忠平, 冯道友, 等. 玉米与姜间作对土壤微生物和酶活性的影响[J]. *土壤通报*, 2009, 40 (5): 1104–1106.
- GENG G D, WANG Z P, FENG D Y, et al. Effects of maize and ginger intercropping on the soil microorganisms and enzyme activities [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2009, 40 (5): 1104–1106. (in Chinese)
- [5] 章铁, 刘秀清, 孙晓莉. 栗茶间作模式对土壤酶活性和土壤养分的影响[J]. *中国农学通报*, 2008, 24 (4): 265–268.
- ZHANG T, LIU X Q, SUN X L. Effect of intercropping pattern of chestnut with tea on soil enzyme activities and soil nutrients [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24 (4): 265–268. (in Chinese)
- [6] 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. Effects of intercropping patterns for maize(*Z. mays* L.) and soybean(*G. max*) on soil enzyme activity and soil nutrients [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39 (16): 9706–9707. (in Chinese)
- [7] 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, 64.
- 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, 64. (in Chinese)
- [8] 刘均霞, 陆引罡, 远红伟, 等. 玉米/大豆间作条件下作物根系对氮素的吸收利用[J]. *华北农学报*, 2008, 23 (1): 173–175.
- LIU J X, LU Y G, YUAN H W, et al. The roots of the crop usually absorb and utilize studying to nitrogen under the maize/soybean intercropping condition [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2008, 23 (1): 173–175. (in Chinese)
- [9] 刘均霞, 陆引罡, 远红伟, 等. 玉米/大豆间作条件下养分的高效利用机理[J]. *山地农业生物学报*, 2007, 26 (2): 105–109.
- LIU J X, LU Y G, YUAN H W, et al. Studies on the efficient use of nutrients in maize/soybean intercropping [J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2007, 26 (2): 105–109. (in Chinese)
- [10] TANG X M, ZHANG Y X, JIANG J, et al. Sugarcane/peanut intercropping system improves physicochemical properties by changing N and P cycling and organic matter turnover in root zone soil [J]. *PeerJ*, 2021, 9: e10880.
- [11] 黄鹏, 张恩和, 柴强. 施氮对新灌区不同间套种植模式产量及茬口养分特性的影响[J]. *草业学报*, 2001, 10 (1): 86–91.
- HUANG P, ZHANG E H, CHAI Q. Effect of N application on yield and stubble nutrient characteristics of intercropping paterens in new irrigation area of Gansu [J]. *Acta Pratacultural Science*, 2001, 10 (1): 86–91. (in Chinese)
- [12] 李隆, 杨思存, 孙建好, 等. 春小麦大豆间作条件下作物养分吸收积累动态的研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 1999, 5 (2): 163–171.
- LI L, YANG S C, SUN J H, et al. Dynamic of nitrogen, phosphorus and potassiumuptake by intercropped species in thespringwheat/soybean intercropping [J]. *Plant Natrition and Fertilizen Science*, 1999, 5 (2): 163–171. (in Chinese)
- [13] 相云秋, 张甜, 邹晓霞, 等. 玉米花生间作对花生植株生长动态影响的研究[J]. *农业科学*, 2018 (1): 69–75.
- XIANG Y Q, ZHANG T, ZOU X X, et al. Effect of maize-peanut intercropping on peanut growth dynamics [J]. *Hans Journal of Agricultural Sciences*, 2018 (1): 69–75. (in Chinese)
- [14] 焦念元, 李亚辉, 刘领, 等. 隔根对玉米II花生间作光合特性与间作优势的影响[J]. *植物生理学报*, 2016, 52 (6): 886–894.
- JIAO N Y, LI Y H, LIU L, et al. Effects of root barrier on photosynthetic characteristics and intercropping advantage of maizeII peanut intercropping [J]. *Plant Physiology Journal*, 2016, 52 (6): 886–894. (in Chinese)
- [15] INAL A, GUNES A, ZHANG F, et al. Peanut/maize intercropping induced changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shoots [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2007, 45 (5): 350–356.
- [16] 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. (in Chinese)
- [17] 章家恩, 高爱霞, 徐华勤, 等. 玉米/花生间作对土壤微生物和土壤养分状况的影响[J]. *应用生态学报*, 2009, 20 (7): 1597–1602.
- ZHANG J E, GAO A X, XU H Q, et al. Effects of maize/peanut intercropping on rhizosphere soil microbes and nutrient contents [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20 (7): 1597–1602. (in Chinese)
- [18] 陈梦非, 王海新, 于国庆, 等. 风沙半干旱区花生玉米间作模式残茬防蚀效应研究[J]. *辽宁农业科学*, 2016 (1): 73–75.
- CHEN M F, WANG H X, YU G Q, et al. Sandstorm happened in peanut corn interplanting mode residues anticorrosive effect research [J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2016 (1): 73–75. (in Chinese)
- [19] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1989.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [21] 王聪翔, 闻杰, 孙文涛, 等. 不同保护性耕作方式土壤酶动态变化的研究初报[J]. *辽宁农业科学*, 2005 (6): 16–18.
- WANG C X, WEN J, SUN W T, et al. Preliminary report about dynamic change of soil enzyme with different conservation tillages [J]. *Liaoning Agricultural Science*, 2005 (6): 16–18. (in Chinese)
- [22] 姜莉, 陈源泉, 隋鹏, 等. 不同间作形式对玉米根际土壤酶活性的影响[J]. *中国农学通报*, 2010, 26 (9): 326–330.
- JIANG L, CHEN Y Q, SUI P, et al. The rhizosphere soil enzyme activities of different corn intercropping system [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26 (9): 326–330. (in

- Chinese)
- [23] 王晋, 强继业, 杨林楠, 等. 玉米吸收磷素营养的代谢及分布 [J]. 西南农业大学学报, 2002, 24 (2): 159–160.
- WANG J, QIANG J Y, YANG L N, et al. Metabolism and distribution of p in maize plants [J]. *Journal of Southwest Agricultural University*, 2002, 24 (2): 159–160. (in Chinese)
- [24] 乔月静, 郭来春, 葛军勇, 等. 燕麦与豆科作物间作对土壤酶活和微生物量的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2020, 55 (3): 54–61.
- QIAO Y J, GUO L C, GE J Y, et al. Effects of oat-legume intercropping on soil enzyme activities and abundance of soil microbe [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2020, 55 (3): 54–61. (in Chinese)
- [25] 王庆宇, 李立军, 阮慧, 等. 旱地燕麦间作对土壤酶活性、微生物含量及产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37 (2): 179–184.
- WANG Q Y, LI L J, RUAN H, et al. Effects of intercropping of oat on soil enzyme activity, microbial content and yield in arid land [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2019, 37 (2): 179–184. (in Chinese)
- [26] 马忠明, 杜少平, 王平, 等. 长期定位施肥对小麦玉米间作土壤酶活性的影响 [J]. 核农学报, 2011, 25 (4): 796–801, 823.
- MA Z M, DU S P, WANG P, et al. Effects of long-term located fertilization on soil enzymatic activities for wheat-maize intercropping in irrigated desert soils [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2011, 25 (4): 796–801, 823. (in Chinese)
- [27] 山东省花生研究所. 中国花生栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982.
- [28] 杨瑞, 刘帅, 王紫泉, 等. 秦岭山脉典型林分土壤酶活性与土壤养分关系的探讨 [J]. 土壤学报, 2016, 53 (4): 1037–1046.
- YANG R, LIU S, WANG Z Q, et al. Relationships between the soil enzyme activity and soil nutrients in forest soils typical of the Qinling Mountain [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2016, 53 (4): 1037–1046. (in Chinese)
- [29] 王福军, 张明园, 张海林, 等. 耕作措施对华北夏玉米田土壤温度和酶活性的影响 [J]. 生态环境学报, 2012, 21 (5): 848–852.
- WANG F J, ZHANG M Y, ZHANG H L, et al. Soil temperature dynamics and enzyme activities as influenced by tillage in North China [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21 (5): 848–852. (in Chinese)
- [30] 沈雪峰, 方越, 董朝霞, 等. 甘蔗/花生间作对土壤微生物和土壤酶活性的影响 [J]. 作物杂志, 2014 (5): 55–58.
- SHEN X F, FANG Y, DONG Z X, et al. Effects of sugarcane/peanut intercropping on soil microbes and soil enzyme activities [J]. *Crops*, 2014 (5): 55–58. (in Chinese)
- [31] 王克林, 黄月, 孙学凯, 等. 辽北地区杨树-玉米间作对土壤水分和养分含量的影响 [J]. 生态学杂志, 2016, 35 (9): 2386–2392.
- WANG K L, HUANG Y, SUN X K, et al. Effects of poplar-maize intercropping on soil moisture and soil nutrient contents in northern Liaoning of China [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35 (9): 2386–2392. (in Chinese)
- [32] 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. (in Chinese)
- [33] 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. (in Chinese)
- [34] 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.
- [35] 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. (in Chinese)
- [36] 张艳, 郭书亚, 尚赏, 等. 甘薯/玉米不同间作方式对土壤养分、酶活性及作物产量的影响 [J]. 山西农业科学, 2020, 48 (8): 1234–1238.
- ZHANG Y, GUO S Y, SHANG S, et al. Effects of different intercropping methods of sweet potato/corn on soil nutrients, enzyme activity and crop yield [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2020, 48 (8): 1234–1238. (in Chinese)
- [37] TIAN J H, TANG M T, XU X, et al. Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) intercropping with reduced nitrogen input influences rhizosphere phosphorus dynamics and phosphorus acquisition of sugarcane (*Saccharum officinarum*) [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2020, 56 (7): 1063–1075.
- [38] EHRMANN J, RITZ K. Plant: soil interactions in temperate multi-cropping production systems [J]. *Plant and Soil*, 2014, 376 (1/2): 1–29.

(责任编辑: 吴宇琳)