

金鑫, 张雪梅, 周琼, 等. 豆科作物秸秆还田对毛桃幼苗生长及养分吸收的影响[J]. 江苏农业学报, 2025, 41(6): 1207-1215.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2025.06.017

豆科作物秸秆还田对毛桃幼苗生长及养分吸收的影响

金鑫^{1,2}, 张雪梅², 周琼³, 骆学萍⁴, 陈松¹, 林立金², 胡容平¹

(1.四川省农业科学院植物保护研究所/农业农村部西南作物有害生物综合治理重点实验室, 四川 成都 610066; 2.四川农业大学园艺学院, 四川 成都 611130; 3.汉源县农业农村局果树站, 四川 雅安 625399; 4.汉源县农业农村局农技站, 四川 雅安 625399)

摘要: 为提高农作物秸秆的综合利用效率, 筛选适宜的还田豆科作物类型, 本研究以不施用秸秆为对照(CK), 设置4种豆科作物[扁豆(*Lablab purpureus*)、豇豆(*Vigna unguiculata*)、饭豆(*Vigna umbellata*)和菜豆(*Phaseolus vulgaris*)]秸秆施用处理, 分析施用不同豆科作物秸秆对毛桃幼苗生长和养分吸收的影响。结果表明, 施用扁豆秸秆毛桃幼苗根系和地上部分生物量分别比CK提高8.62%和6.91%, 而施用饭豆秸秆毛桃幼苗地上部分生物量比CK减少7.70%。施用扁豆秸秆毛桃幼苗叶片叶绿素a含量、叶绿素b含量和类胡萝卜素含量分别比CK提高19.06%、22.12%和18.78%; 施用扁豆、豇豆和菜豆秸秆能显著提高毛桃幼苗抗氧化酶活性, 而施用饭豆秸秆毛桃幼苗过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性和抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性分别比CK降低4.99%、5.23%和10.95%。施用4种豆科作物秸秆均能提高毛桃幼苗根系和地上部的全氮含量, 其中饭豆秸秆处理的增加效果最为显著; 施用饭豆秸秆和菜豆秸秆还能提高毛桃幼苗根系全磷含量。土壤碱解氮含量和根系全氮含量与地上部分全氮含量呈极显著正相关, 根系全磷含量、土壤有效磷含量和根系全钾含量与地上部分全磷含量呈极显著正相关, 土壤有效磷含量和地上部分全磷含量与地上部分全钾含量呈显著或极显著正相关。因此, 施用扁豆秸秆对毛桃幼苗生长最有利。

关键词: 豆科作物; 秸秆还田; 毛桃; 生长; 养分吸收

中图分类号: S662.1; S14 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2025)06-1207-09

Effects of legume crop straw returning to soil on growth and nutrient uptake of peach seedlings

JIN Xin^{1,2}, ZHANG Xuemei², ZHOU Qiong³, LUO Xueping⁴, CHEN Song¹, LIN Lijin², HU Rongping¹

(1. Institute of Plant Protection, Sichuan Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Integrated Management of Pest on Crops in Southwest China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chengdu 610066, China; 2. College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 3. Fruit Tree Station, Hanyuan Bureau of Agriculture and Rural Areas, Ya'an 625399, China; 4. Agricultural Technology Station, Hanyuan Bureau of Agriculture and Rural Areas, Ya'an 625399, China)

Abstract: In order to improve the comprehensive utilization of crop straws, and to screen the suitable types of

收稿日期: 2024-11-11

基金项目: 国家现代农业产业体系四川水果创新团队项目(scxctd-2024-04); 丹棱县特色农业产业提质增效关键技术示范与推广项目(2022ZHXC0042); 四川省农业科学院中试熟化项目(2023ZSSF04)

作者简介: 金鑫(2002-), 女, 四川成都人, 本科生, 主要从事果树栽培与生理生态研究。(E-mail) 1348187186@qq.com

通讯作者: 胡容平, (E-mail) hurongping1215@163.com

legume crops for returning to the field, this study took no application of straw as the control (CK), set four legume crops (*Lablab purpureus*, *Vigna unguiculata*, *Vigna umbellata* and *Phaseolus vulgaris*) straws as treatments, and the effects of applying different legume crop straws on the growth and nutrient absorption of peach seedlings were studied. The results showed that the straw of *L. purpureus* increased the root and shoot biomass of peach seedlings by

8.62% and 6.91%, respectively, compared with CK, while the straw of *V. umbellata* decreased the shoot biomass of peach seedlings by 7.70%. Compared with CK, the straw of *L. purpureus* increased the contents of chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoids in the leaves of peach seedlings by 19.06%, 22.12%, and 18.78%, respectively, the straws of *L. purpureus*, *V. unguiculata* and *P. vulgaris* significantly increased the antioxidant enzyme activities of peach seedlings, while the straw of *V. umbellata* decreased the activities of peroxidase (POD), catalase (CAT), and ascorbate peroxidase (APX) of peach seedlings by 4.99%, 5.23%, and 10.95%, respectively. The application of straws of four legume crops increased the total nitrogen contents in roots and shoots of peach seedlings, and the effect of *V. umbellata* straw was the most significant. The straws of *V. umbellata* and *P. vulgaris* also increased the total phosphorus content in roots of peach seedlings. In addition, the soil alkali-hydrolyzable nitrogen content and root total nitrogen content showed highly significant positive correlation with aboveground total nitrogen content. The root total phosphorus content, soil available phosphorus content and root total potassium content showed highly significant positive correlation with aboveground total phosphorus content. The soil available phosphorus content and shoot total phosphorus content were in significant positive or highly significant positive correlation with aboveground total potassium content. Therefore, the application of lentil straw is the most beneficial to the growth of peach seedlings.

Key words: legume crops; straw mulching; peach; growth; nutrient absorption

农作物秸秆富含多种营养元素,施入土壤后,可降低化肥施用量,节约种植成本^[1]。中国有丰富的作物秸秆资源,秸秆中有效养分含量占化肥施用量的19%^[2]。目前,秸秆还田有直接和间接两种方式。直接还田是把农作物秸秆直接翻耕入土或用作覆盖物;间接还田是将秸秆作为其他用途原料后产生的废弃物进行还田^[3-4]。2021年,中国秸秆直接还田量占秸秆可收集量的54.7%,秸秆直接还田已成为秸秆利用的主要方式^[5-6]。宋秀丽等^[7]研究表明,化肥与秸秆配施能够增加大豆的叶绿素含量和干物质积累量。杨平等^[8]研究发现秸秆还田的玉米产量较不还田对照提高7.9%。田春佳^[9]研究认为秸秆还田能提高蓝莓果实的产量与品质。彭显龙等^[10]研究表明,秸秆还田能显著增加土壤还原性物质总量,抑制水稻早期生长。杨冬艳等^[11]比较了不同番茄秸秆还田方式(鲜样和干样)对黄瓜和西瓜幼苗生长的影响。由于不同作物秸秆还田对后茬农作物生长和养分吸收有较大影响,因而筛选合适的作物秸秆类型还田是秸秆还田利用的关键。

桃(*Prunus persica*)是蔷薇科李属落叶果树,具有较高的观赏价值和食用价值,是中国第三大落叶果树,栽培面积约 $8.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ^[12]。毛桃是一种野生桃,与栽培种相比,具有更高的抗性,常用作桃和李的砧木^[13]。目前,秸秆在桃树的防寒和丰产栽培中有初步研究^[14]。中国也是豆科作物生产大国之一,豆科作物秸秆还田能够提高废弃物的利用率^[15]。但不同

豆科作物秸秆对毛桃幼苗生长及养分吸收的影响还缺乏深入研究。鉴于此,本研究以4种豆科作物[扁豆(*Lablab purpureus*)、豇豆(*Vigna unguiculata*)、饭豆(*Vigna umbellata*)和菜豆(*Phaseolus vulgaris*)]秸秆和毛桃幼苗为材料,分析不同豆科作物秸秆还田对毛桃幼苗生长及养分吸收的影响,以期筛选出促进毛桃幼苗生长及养分吸收的豆科作物秸秆。

1 材料与方法

1.1 供试材料

毛桃种子于2022年10月购自天府花城花卉市场,并在冬季进行沙藏。扁豆、豇豆、菜豆和饭豆地上部分秸秆取自四川农业大学成都校区周边农田,充分晒干后粉碎装袋备用。

供试土壤的基本理化性质为:pH值7.58,有机质含量12.42 g/kg,全氮含量0.72 g/kg,全磷含量10.55 g/kg,全钾含量16.52 g/kg,碱解氮含量34.52 mg/kg,速效磷含量16.23 mg/kg,速效钾含量74.33 mg/kg。

1.2 试验设计

试验于2023年3月至6月在四川农业大学成都校区的避雨棚中进行。2023年3月,将发芽的毛桃种子播种于装有珍珠岩的穴盘中进行育苗,每3 d浇灌一次霍格兰营养液。同时,将供试土壤过5 mm筛后,装入内径15 cm、高18 cm小型塑料花盆,每盆装土3.0 kg并施入5 g复合肥,混匀。2023年4月,依据文献^[16]的方法,将不同豆科作物秸秆分别施

入土壤中,每盆共施 30 g。试验共设 5 个处理:不施秸秆对照(CK)、施用扁豆秸秆、施用豇豆秸秆、施用饭豆秸秆和施用菜豆秸秆。将土壤和秸秆混合均匀,浇透水,并保持湿润自然平衡 14 d。待穴盘培育的毛桃幼苗长至株高 10 cm 时将其移栽至盆中,每盆种植 4 株,每个处理重复 3 次,每天浇水保持土壤湿润。盆与盆之间间隔 15 cm,东西朝向排列,并在毛桃幼苗的生长过程中每 2 d 交换一次盆与盆之间的位置以减弱边际效应。处理 60 d 进行整株和盆中土壤采样,并进行毛桃幼苗生理指标和土壤理化性质指标测定。

1.3 测定指标与方法

将采样得到的毛桃幼苗分为根系和地上部分,清洗干净,杀青、烘干称重,即得毛桃幼苗根系和地上部分生物量。采集各处理毛桃幼苗的中部叶片(从上往下第 6 张和 7 张),采用乙醇-丙酮混合浸提法^[17]测定叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量和类胡萝卜素含量,参照文献^[17]的方法测定过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)等酶的活性。

将各处理烘干的根系和地上部样品粉碎,用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮后,参照文献^[18]的方法测定根

系和地上部的全氮含量、全磷含量和全钾含量。同样,参照文献^[18]的方法,测定土壤碱解氮含量、有效磷含量、速效钾含量和土壤 pH 值。

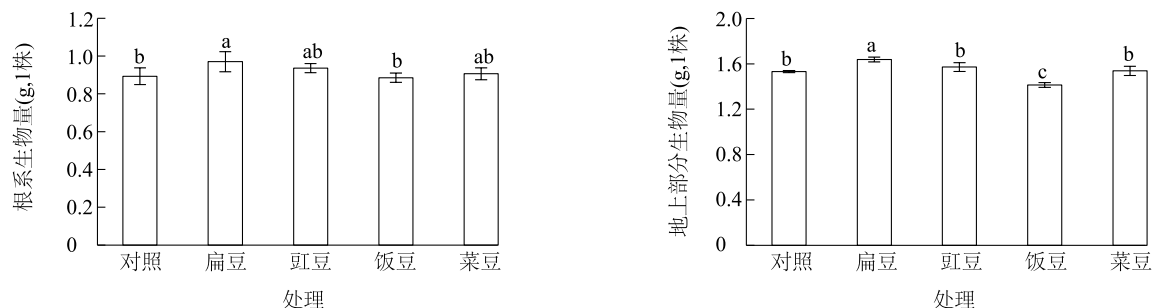
1.4 数据分析

采用 SPSS 21.0 软件进行数据统计与分析,采用 Duncan's 新复极差法进行处理间差异性比较($P < 0.05$),采用 Pearson 法分析指标之间的相关性,采用灰色关联度法分析各指标与地上部分氮含量、地上部分磷含量和地上部分钾含量的灰色相关关系。

2 结果与分析

2.1 施用不同豆科作物秸秆对毛桃幼苗生物量的影响

施用不同豆科作物秸秆对毛桃幼苗生物量的影响如图 1 所示。从图中可以看出,施用扁豆秸秆处理的毛桃幼苗根系和地上部分生物量分别比不添加秸秆对照(CK)增加 8.62% 和 6.91%,而施用豇豆和菜豆秸秆处理的毛桃幼苗根系和地上部分生物量与 CK 无显著差异,施用饭豆秸秆处理的毛桃幼苗地上部分生物量比 CK 降低 7.70%,而根系生物量差异不显著。



图柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

图 1 施用不同豆科作物秸秆对毛桃幼苗根系、地上部分生物量的影响

Fig.1 Effects of different legume straws on roots and shoots biomass of peach seedlings

2.2 施用不同豆科作物秸秆对毛桃幼苗光合色素含量的影响

施用扁豆秸秆处理的毛桃幼苗叶片叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量和类胡萝卜素含量分别比 CK 提高 19.06%、22.12% 和 18.78%,施用豇豆秸秆毛桃幼苗叶绿素 b 含量和类胡萝卜素含量分别比 CK 提高 8.65% 和 8.45%,而施用菜豆秸秆和饭豆秸秆对毛桃幼苗光合色素含量无显著影响(表 1)。

2.3 施用不同豆科作物秸秆对毛桃幼苗抗氧化酶活性的影响

与 CK 相比,施用扁豆、豇豆和菜豆秸秆均能显著提高毛桃幼苗的抗氧化酶活性,而施用饭豆秸秆能导致毛桃幼苗抗氧化酶活性下降(表 2)。其中,施用扁豆秸秆毛桃幼苗 POD 活性、SOD 活性、CAT 活性和 APX 活性分别比 CK 提高 22.81%、46.57%、26.32% 和 38.87%。施用豇豆秸秆毛桃幼苗 POD 活性、SOD

活性、CAT 活性和 APX 活性分别比 CK 提高 15.26%、44.21%、17.10% 和 12.74%。施用菜豆秸秆毛桃幼苗 POD 活性、SOD 活性、CAT 活性和 APX 活性分别比

CK 提高 11.20%、28.59%、9.54% 和 11.49%，而施用饭豆秸秆毛桃幼苗 POD 活性、CAT 活性和 APX 活性分别比 CK 降低 4.99%、5.23% 和 10.95%。

表 1 施用不同豆科作物秸秆对毛桃幼苗叶片光合色素含量的影响

Table 1 Effects of different legume crop straws on photosynthetic pigment content in leaves of peach seedlings

处理	叶绿素 a 含量 (mg/g)	叶绿素 b 含量 (mg/g)	叶绿素总含量 (mg/g)	类胡萝卜素含量 (mg/g)
CK	0.918±0.021b	0.312±0.013cd	1.230±0.034bc	0.213±0.009c
扁豆	1.093±0.028a	0.381±0.009a	1.473±0.020a	0.253±0.010a
豇豆	0.928±0.036b	0.339±0.012b	1.266±0.044b	0.231±0.005b
饭豆	0.883±0.019b	0.292±0.010d	1.176±0.028c	0.209±0.010c
菜豆	0.921±0.011b	0.331±0.015bc	1.253±0.020b	0.223±0.006bc

同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

表 2 施用不同豆科作物秸秆对毛桃幼苗抗氧化酶活性的影响

Table 2 Effects of different legume crop straws on antioxidant enzyme activities of peach seedlings

处理	过氧化物酶(POD)活性 [U/(g·min)]	超氧化物歧化酶(SOD)活性 (U/g)	过氧化氢酶(CAT)活性 [mg/(g·min)]	抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性 [U/(g·min)]
CK	1 017.310±11.472c	126.660±4.178c	7.823±0.194d	1 249.290±36.941c
扁豆	1 249.310±29.671a	185.640±1.293a	9.882±0.184a	1 734.950±66.566a
豇豆	1 172.580±11.722b	182.660±2.665a	9.161±0.210b	1 408.430±37.577b
饭豆	966.520±30.512d	125.690±4.087c	7.414±0.113e	1 112.550±14.557d
菜豆	1 131.200±39.999b	162.870±3.783b	8.569±0.093c	1 392.890±26.214b

同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.4 施用不同豆科作物秸秆对毛桃幼苗全氮含量、全磷含量和全钾含量的影响

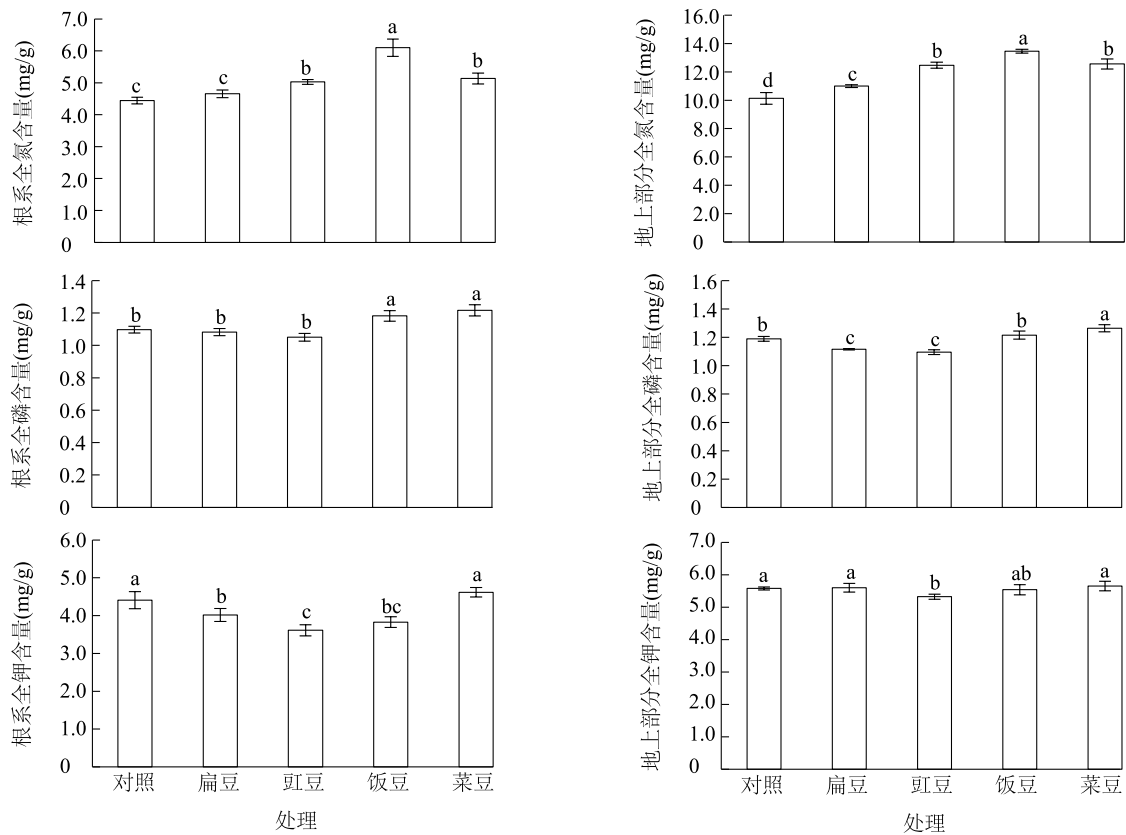
施用不同豆科作物秸秆对毛桃幼苗全氮含量、全磷含量和全钾含量的影响如图 2 所示。从图中可以看出,施用 4 种豆科作物秸秆均能提高毛桃幼苗根系和地上部分的全氮含量,其中,施用豇豆、饭豆和菜豆处理毛桃幼苗根系全氮含量分别比 CK 提高 13.11%、37.26% 和 15.57%。施用扁豆、豇豆、饭豆和菜豆秸秆处理毛桃幼苗地上部分的全氮含量分别比 CK 提高 4.32%、14.19%、33.33% 和 13.58%。施用饭豆秸秆对提高毛桃幼苗根系和地上部分的全氮含量效果较好。

施用饭豆和菜豆秸秆处理的毛桃幼苗根系全磷含量分别比 CK 提高 7.75% 和 10.85%。施用扁豆和豇豆秸秆处理的毛桃幼苗根系全磷含量与 CK 无显著差异。施用菜豆秸秆处理毛桃幼苗地上部分的全磷含量比 CK 提高 9.20%,施用饭豆秸秆处理与 CK 无显著差异,而施用扁豆和豇豆秸秆处理的毛桃幼苗地上部全磷含量分别比 CK 降低 1.74% 和 4.97%。

施用菜豆秸秆处理的毛桃幼苗根系全钾含量与 CK 无显著差异,而施用扁豆、豇豆和饭豆秸秆处理毛桃幼苗根系的全钾含量分别比 CK 降低 8.88%、18.09% 和 13.19%。施用豇豆秸秆处理毛桃幼苗地上部分全钾含量比 CK 降低 4.56%,其他处理毛桃幼苗地上部分全钾含量与 CK 差异不显著。

2.5 施用不同豆科作物秸秆对土壤有效养分含量和 pH 值的影响

施用不同豆科作物秸秆对土壤有效养分含量和 pH 值的影响如表 3 所示。从表中可以看出,施用扁豆、豇豆、饭豆和菜豆秸秆处理的土壤碱解氮含量分别比 CK 提高 6.04%、10.27%、16.51% 和 9.55%。施用扁豆和豇豆秸秆处理的土壤有效磷含量分别比 CK 降低 6.15% 和 29.15%,而施用饭豆和菜豆秸秆处理的土壤有效磷含量分别比 CK 提高 16.85% 和 21.55%。施用 4 种豆科作物秸秆处理对土壤速效钾含量影响均不显著。施用扁豆、豇豆和饭豆秸秆处理能显著降低土壤 pH 值,而施用菜豆秸秆对土壤 pH 值无显著影响。



图柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图2 施用不同豆科植物秸秆对毛桃幼苗养分含量的影响

Fig.2 Effects of different legume plant straws on nutrient content of peach seedlings

表3 施用不同豆科植物秸秆对土壤有效养分含量及 pH 值的影响

Table 3 Effects of different legume plant straws on soil available nutrient content and pH value

处理	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	pH 值
CK	25.02±1.08c	20.65±0.44b	68.01±1.80ab	7.46±0.06a
扁豆	26.53±0.83b	19.38±1.06c	67.69±0.62ab	7.29±0.01b
豇豆	27.59±0.39b	14.63±0.27d	65.99±0.89b	7.26±0.07b
饭豆	29.15±0.83a	24.13±0.52a	67.41±1.22b	7.34±0.06b
菜豆	27.41±0.73b	25.10±0.81a	69.66±0.66a	7.45±0.07a

同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.6 指标相关性分析及灰色关联度分析

毛桃幼苗生长指标与环境指标的相关性如表4、表5所示。从表中可以看出,毛桃幼苗根系全氮含量与地上部分生物量呈极显著负相关,与地上部分全氮含量和土壤碱解氮含量呈极显著正相关。地上部分全氮含量与地上部分生物量呈显著负相关,与土壤碱解氮含量呈极显著正相关。根系全磷含量与地上部分生物量呈显著负相关,与地上部分全磷含量、土壤有效磷含量

和土壤速效钾含量呈极显著正相关。地上部分全磷含量与根系生物量和地上部分生物量呈显著负相关,与地上部分全钾含量和土壤速效钾含量呈显著正相关,与根系全钾含量、土壤 pH 值和土壤有效磷含量呈极显著正相关。根系全钾含量与地上部分全钾含量和土壤有效磷含量呈显著正相关,与土壤 pH 值和土壤速效钾含量呈极显著正相关。地上部分全钾含量与土壤有效磷含量也呈极显著正相关。

表 4 相关性分析 1

Table 4 Correlation analysis I

指标	根系生物量	地上部分生物量	叶绿素 a 含量	叶绿素 b 含量	叶绿素总含量	类胡萝卜素含量	POD 活性	SOD 活性	CAT 活性	APX 活性
根系生物量	1.000									
地上部分生物量	0.619 *	1.000								
叶绿素 a 含量	0.610 *	0.729 **	1.000							
叶绿素 b 含量	0.662 **	0.874 **	0.875 **	1.000						
叶绿素总含量	0.642 **	0.792 **	0.990 **	0.936 **	1.000					
类胡萝卜素含量	0.603 *	0.777 **	0.798 **	0.879 **	0.844 **	1.000				
POD 活性	0.585 *	0.841 **	0.741 **	0.895 **	0.806 **	0.842 **	1.000			
SOD 活性	0.662 **	0.775 **	0.631 *	0.824 **	0.705 **	0.803 **	0.940 **	1.000		
CAT 活性	0.723 **	0.892 **	0.793 **	0.917 **	0.852 **	0.876 **	0.947 **	0.946 **	1.000	
APX 活性	0.629 *	0.867 **	0.889 **	0.966 **	0.935 **	0.891 **	0.938 **	0.839 **	0.934 **	1.000
根系全氮含量	-0.311	-0.723 **	-0.471	-0.530 *	-0.499	-0.380	-0.502	-0.346	-0.483	-0.564 *
地上部分全氮含量	-0.197	-0.540 *	-0.456	-0.391	-0.447	-0.240	-0.219	-0.013	-0.247	-0.390
根系全磷含量	-0.448	-0.618 *	-0.387	-0.439	-0.413	-0.449	-0.388	-0.408	-0.497	-0.382
地上部分全磷含量	-0.521 *	-0.573 *	-0.472	-0.529 *	-0.501	-0.559 *	-0.527 *	-0.590 *	-0.630 *	-0.503
根系全钾含量	-0.227	0.001	-0.074	-0.070	-0.076	-0.125	-0.088	-0.237	-0.202	-0.010
地上部分全钾含量	-0.144	0.084	0.153	0.074	0.136	0.121	-0.137	-0.234	-0.086	0.072
土壤 pH 值	-0.437	-0.255	-0.384	-0.464	-0.419	-0.444	-0.392	-0.536 *	-0.499	-0.383
土壤碱解氮含量	-0.028	-0.463	-0.303	-0.343	-0.322	-0.179	-0.197	-0.014	-0.199	-0.342
土壤有效磷含量	-0.406	-0.520 *	-0.293	-0.399	-0.332	-0.407	-0.499	-0.560 *	-0.553 *	-0.380
土壤速效钾含量	-0.268	-0.078	-0.047	-0.085	-0.060	-0.062	-0.047	-0.127	-0.140	-0.007

POD、SOD、CAT、APX 分别为过氧化物酶、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、抗坏血酸过氧化物酶。* 和 ** 分别表示指标间存在显著相关 ($0.01 \leq P < 0.05$) 和极显著相关 ($P < 0.01$)。

表 5 相关性分析 2

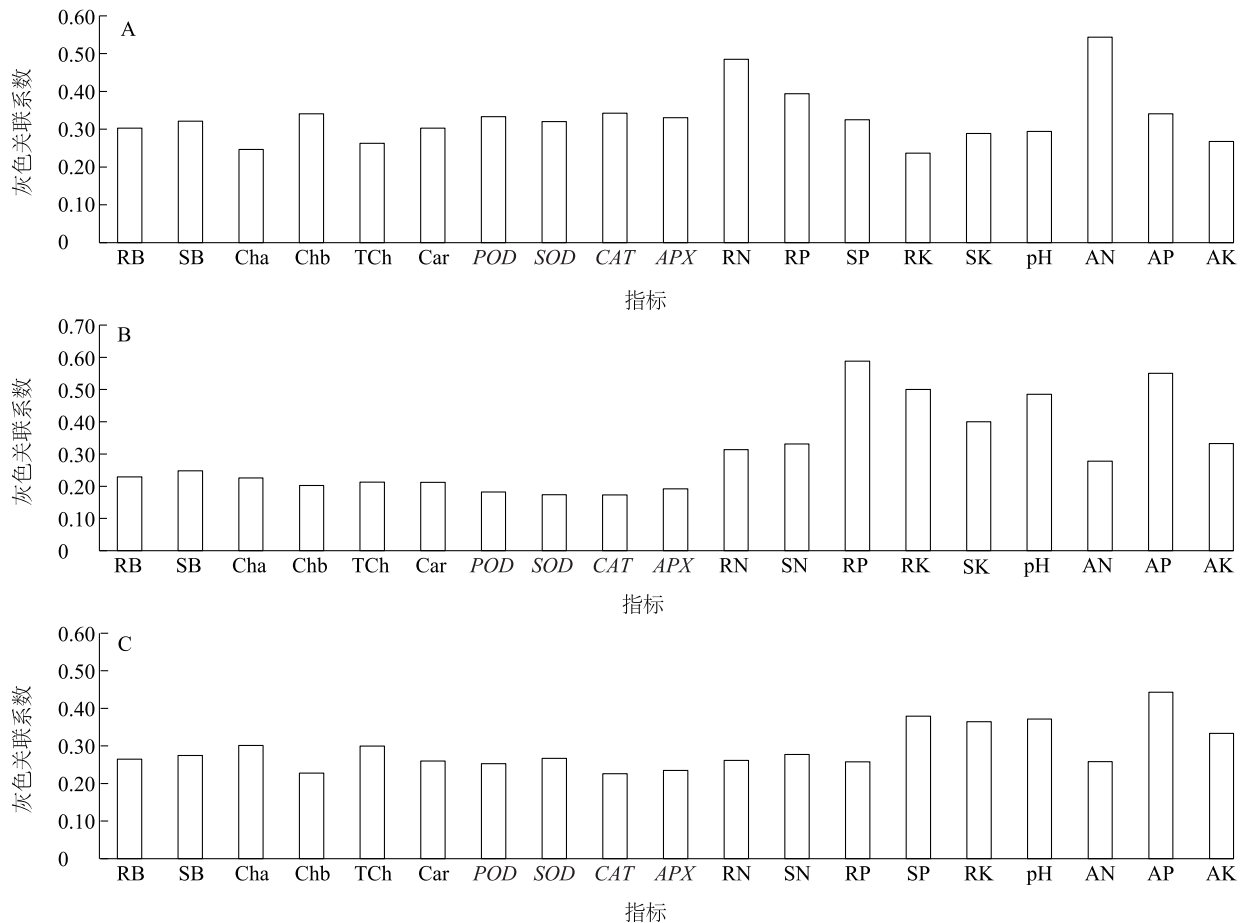
Table 5 Correlation analysis II

指标	根系全氮含量	地上部分全氮含量	根系全磷含量	地上部分全磷含量	根系全钾含量	地上部分全钾含量	土壤 pH 值	土壤碱解氮含量	土壤有效磷含量	土壤速效钾含量
根系生物量										
地上部分生物量										
叶绿素 a 含量										
叶绿素 b 含量										
叶绿素总含量										
类胡萝卜素含量										
POD 活性										
SOD 活性										
CAT 活性										
APX 活性										
根系全氮含量	1.000									
地上部分全氮含量	0.890 **	1.000								
根系全磷含量	0.479	0.451	1.000							
地上部分全磷含量	0.385	0.273	0.858 **	1.000						
根系全钾含量	-0.347	-0.345	0.500	0.653 **	1.000					
地上部分全钾含量	0.047	-0.134	0.296	0.539 *	0.537 *	1.000				
土壤 pH 值	-0.159	-0.230	0.485	0.752 **	0.826 **	0.451	1.000			
土壤碱解氮含量	0.849 **	0.912 **	0.322	0.164	-0.409	-0.161	-0.263	1.000		
土壤有效磷含量	0.451	0.279	0.846 **	0.896 **	0.586 *	0.669 **	0.578 *	0.227	1.000	
土壤速效钾含量	-0.158	-0.086	0.644 **	0.528 *	0.741 **	0.362	0.610 *	-0.155	0.585 *	1.000

POD、SOD、CAT、APX 见表 4 注。* 和 ** 分别表示指标间存在显著相关 ($0.01 \leq P < 0.05$) 和极显著相关 ($P < 0.01$)。

毛桃幼苗地上部分全氮含量、地上部分全磷含量和地上部分全钾含量与其他指标的灰色关联系数如图3所示。从图中可以看出,毛桃幼苗地上部分全氮含量、地上部分全磷含量和地上部分全钾含量与其他指标均存在灰色相关性。土壤碱解氮含量、根系全氮含量和根系全磷含量这3个指标与毛桃幼苗地上部分全氮含量关联最密切,灰色关联系数均

大于0.35(图3A)。根系全磷含量、土壤有效磷含量和根系全钾含量这3个指标与毛桃幼苗地上部分全磷含量关联最密切,灰色关联系数均大于0.50(图3B)。土壤有效磷含量、地上部分全磷含量和土壤pH值这3个指标与毛桃幼苗地上部分全钾含量关联最密切,灰色关联系数均大于0.35(图3C)。



A:地上部分全氮含量与其他指标的灰色关联系数;B:地上部分全磷含量与其他指标的灰色关联系数;C:地上部分全钾含量与其他指标的灰色关联系数。RB:根系生物量,SB:地上部分生物量,Cha:叶绿素a含量,Chb:叶绿素b含量,TCh:叶绿素总量含量,Car:类胡萝卜素含量,POD:过氧化物酶活性,SOD:超氧化物歧化酶活性,CAT:过氧化氢酶活性,APX:抗坏血酸过氧化物酶活性,RN:根系全氮含量,SN:地上部分全氮含量,RP:根系全磷含量,SP:地上部分全磷含量,RK:根系全钾含量,SK:地上部分全钾含量,PH:土壤pH值,AN:土壤碱解氮含量,AP:土壤有效磷含量,AK:土壤速效钾含量。

图3 灰色关联度分析

Fig.3 Grey correlation analysis

3 讨论

秸秆还田不但能增加土壤有机质含量、养分含量,还能增强后茬作物的抗性,进而促进作物生长,提高作物产量^[19-22]。早稻秸秆还田能促进土壤氮素矿化,提高红壤水稻土氮素含量^[23];水稻秸秆还

田能提高土壤速效磷含量,促进小麦增产^[24]。合理施用油菜秸秆能提高桃的产量和品质^[16]。秸秆还田能提高马铃薯的CAT、POD和SOD等抗氧化酶活性^[25],施用龙葵秸秆能够提高树番茄幼苗SOD活性^[26]。但不同作物秸秆的施用对后茬作物的生长和产量有不同的影响^[27-28]。本研究结果表明,施用

扁豆秸秆能提高毛桃幼苗(根系和地上部)生物量和叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量和类胡萝卜素含量,施用豇豆秸秆虽然对生物量影响不大,但能提高叶片叶绿素 b 含量和类胡萝卜素含量,而施用饭豆秸秆能降低毛桃幼苗地上部分的生物量。施用扁豆、豇豆和菜豆秸秆能提高毛桃幼苗的抗氧化酶(*SOD*、*POD* 和 *CAT*)活性,而施用饭豆秸秆却能导致毛桃幼苗抗氧化酶活性的降低。施用 4 种豆科作物秸秆整体上能提高毛桃幼苗全氮含量,其中以施用饭豆秸秆处理提高得最多,但该处理下毛桃幼苗干物重却低于 CK,一方面可能是该处理土壤供氮量过多导致的生长抑制^[29-30],另一方面可能是饭豆秸秆释放的有机酸^[31]对毛桃幼苗的根系生长抑制,具体原因还有待进一步研究。

秸秆还田可以调节土壤 pH 值,增加外源有机物质,释放矿质元素,进而提高土壤养分含量,有利于农作物对养分的吸收^[32-34]。土壤中不同养分元素之间也存在拮抗和协同作用,直接影响农作物对养分的吸收和利用^[35-36]。本研究中,施用 4 种豆科作物秸秆均能提高土壤碱解氮含量,但对土壤有效磷含量的影响存在较大的差异。施用饭豆和菜豆秸秆能提高土壤有效磷含量,而施用扁豆和豇豆秸秆能降低土壤有效磷含量,这与丁井魁等^[37]的研究结果一致。相关性分析结果表明,毛桃幼苗地上部分全磷含量、全钾含量与土壤有效磷含量、速效钾含量呈正相关,说明磷、钾之间存在交互作用或协同作用,这与前人研究结果^[38-39]一致。毛桃幼苗全氮含量与土壤碱解氮含量呈正相关,与毛桃幼苗地上部分生物量呈负相关。灰色关联度分析结果表明,土壤碱解氮含量、根系全氮含量和根系全磷含量与毛桃幼苗地上部分全氮含量密切相关,根系全磷含量、土壤有效磷含量和根系全钾含量与毛桃幼苗地上部分全磷含量密切相关,土壤有效磷含量、地上部分全磷含量和土壤 pH 值与毛桃幼苗地上部分全钾含量密切相关。可见,土壤有效养分含量与毛桃幼苗养分的吸收密切相关。

4 结论

施用扁豆秸秆(10 g/kg)能提高毛桃幼苗叶片光合色素含量、抗氧化酶活性,进而促进毛桃幼苗的生长,而施用豇豆秸秆、饭豆秸秆和菜豆秸秆(10 g/kg)对毛桃幼苗的生长无显著影响或起抑制作用。

施用 4 种豆科作物秸秆均能提高毛桃幼苗根系和地上部分全氮含量,施用饭豆和菜豆秸秆还能提高毛桃幼苗根系的全磷含量。

参考文献:

- [1] 郭立新,李诗白. 秸秆还田技术在土壤修复领域应用研究进展[J]. 长春理工大学学报(自然科学版),2023,46(5):105-114.
- [2] SHAO J M, GAO C Y, AFI SEGLAH P, et al. Analysis of the available straw nutrient resources and substitution of chemical fertilizers with straw returned directly to the field in China[J]. Agriculture,2023,13(6):1187.
- [3] 范 围. 玉米秸秆不同还田方式对黑钙土有机碳及微生物多样性的影响[D]. 长春:吉林农业大学,2021.
- [4] 李瑞平. 吉林省半湿润区不同耕作方式对土壤环境及玉米产量的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2021.
- [5] 严东权,薛颖昊,徐志宇,等. 我国农作物秸秆直接还田利用现状、技术模式及发展建议[J]. 中国农业资源与区划,2023,44(4):1-14.
- [6] GUO L J, ZHANG L, LIU L, et al. Effects of long-term no tillage and straw return on greenhouse gas emissions and crop yields from a rice-wheat system in central China[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment,2021,322:107650.
- [7] 宋秀丽,王冰雪,陆 杰,等. 化肥与秸秆配施对大豆生长及产量的影响[J]. 黑龙江农业科学,2015(7):35-39.
- [8] 杨 平,杜 鹏,罗光琼. 秸秆还田对土壤肥力和玉米产量的影响[J]. 农技服务,2023,40(6):36-38.
- [9] 田春佳. 秸秆还田对蓝莓生长的影响[J]. 农业工程技术,2024,44(1):34-35.
- [10] 彭显龙,董 强,张 辰,等. 不同土壤条件下秸秆还田量对土壤还原性物质及水稻生长的影响[J]. 中国水稻科学,2024,38(2):198-210.
- [11] 杨冬艳,桑 婷,王 丹,等. 番茄秸秆不同还田方式对黄瓜和西瓜幼苗生长的影响[J]. 北方园艺,2023(23):53-59.
- [12] 俞明亮,王力荣,王志强,等. 新中国果树科学研究 70 年:桃[J]. 果树学报,2019,36(10):1283-1291.
- [13] HUANG W J, LI M, ZHANG H W, et al. Differentially expression analyses in fruit of cultivated and wild species of grape and peach[J]. Scientific Reports,2023,13(1):1997.
- [14] 孙奇男,张 硕,朱为静,等. 不同秸秆覆盖模式对桃园土壤和果实的影响[J]. 浙江农业科学,2024,65(3):618-622.
- [15] 刘凯凯. 不同作物秸秆还田下温度和水分对土壤活性有机碳及其矿化的影响[D]. 晋中:山西农业大学,2022.
- [16] 孙 静. 油菜秸秆对桃生长及果实品质的影响[D]. 成都:四川农业大学,2021.
- [17] 熊狄娥. 植物生理学实验教程[M]. 成都:四川科学技术出版社,2003.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [19] 张 莉,王 婧,逢焕成,等. 秸秆颗粒还田对土壤养分和冬小

- 麦产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(12): 1770-1778.
- [20] 张向前, 钱益亮. 秸秆覆盖对玉米生长、光合及产量的影响[J]. 华北农学报, 2015, 30(4): 174-180.
- [21] 陈彦君, 王德炉. 玉米秸秆覆盖厚度对蓝莓生理生长和产量的影响[J]. 贵州农业科学, 2020, 48(9): 97-102.
- [22] LIN L J, LIAO M A, REN Y J, et al. Effects of mulching tolerant plant straw on soil surface on growth and cadmium accumulation of *Galinsoga parviflora* [J]. PLoS One, 2014, 9(12): e114957.
- [23] 马力, 杨林章, 肖和艾, 等. 长期施肥和秸秆还田对红壤水稻土氮素分布和矿化特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 898-905.
- [24] 夏炎. 高产稻麦两熟制条件下秸秆还田效应的研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2010.
- [25] 黄金文, 杨成存, 韩凡香, 等. 秸秆带状覆盖对旱地马铃薯叶片抗氧化特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2022, 40(3): 20-29.
- [26] 代京桐, 王江月, 李睿, 等. 茄属杂草秸秆对树番茄苗生长及养分吸收的影响[J]. 湖北农业科学, 2023, 62(7): 84-88.
- [27] 赵颖, 何志刚, 曲航, 等. 不同秸秆育苗基质对水稻幼苗生长和根际微环境的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(10): 100-105.
- [28] 李潇雅. 不同蔬菜秸秆还田对黄瓜连作土壤特性及植株生长的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2021.
- [29] 张亚飞, 罗静静, 彭福田, 等. 黄腐酸钾与化肥控释袋促进桃树生长及氮肥吸收利用[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(4): 998-1005.
- [30] SHRIVASTAV P, PRASAD M, SINGH T B, et al. Role of nutrients in plant growth and development[M]// Naeem M, Ansari A, Gill S. Contaminants in Agriculture. Cham: Springer International Publishing, 2020: 43-59.
- [31] 赵蒙蒙, 姜曼, 周祚万. 几种农作物秸秆的成分分析[J]. 材料导报, 2011, 25(16): 122-125.
- [32] ROGIERS S Y, COETZEE Z A, WALKER R R, et al. Potassium in the grape (*Vitis vinifera* L.) berry: transport and function[J]. Frontiers in Plant Science, 2017, 8: 1629.
- [33] 刘子熙, 王治统, 赵德强, 等. 土壤增温和秸秆还田对土壤养分和胞外酶活性的影响[J]. 生态学报, 2023, 43(23): 9867-9876.
- [34] LI M, ZHANG H C, YANG X, et al. Accumulation and utilization of nitrogen, phosphorus and potassium of irrigated rice cultivars with high productivities and high N use efficiencies [J]. Field Crops Research, 2014, 161: 55-63.
- [35] BERNARDI A C D C, CARMELLO Q A D C, CARVALHO S A D, et al. Nitrogen, phosphorus and potassium fertilization interactions on the photosynthesis of containerized *Citrus* nursery trees [J]. Journal of Plant Nutrition, 2015, 38(12): 1902-1912.
- [36] MALVI U R. Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium [J]. Karnataka Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24(1): 106-109.
- [37] 丁井魁, 徐博, 叶新新, 等. 长期不同秸秆还田措施对土壤供磷能力的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2024, 51(1): 110-116.
- [38] 陈昱, 张福建, 范淑英, 等. 秸秆腐解物对豇豆连作土壤性质及幼苗生理指标的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(7): 1472-1479.
- [39] JIN Z Q, SHAH T, ZHANG L, et al. Effect of straw returning on soil organic carbon in rice-wheat rotation system: a review [J]. Food and Energy Security, 2020, 9(2): e200.

(责任编辑:石春林)