

蚯蚓粪与化肥配施对红小豆 生长与品质的影响

刘祥,周洁,邓金华,叶爱萍,郑玺,张立新

(西北农林科技大学生命科学学院,陕西 杨凌 712100)

摘要:为探究蚯蚓粪与化肥配施对陕西关中地区红小豆产量及品质的影响,以红小豆新品种保红947为研究对象,设置T1(纯化肥)、T2(20%蚯蚓粪+80%化肥)、T3(50%蚯蚓粪+50%化肥)、T4(80%蚯蚓粪+20%化肥)和CK(不施肥)5个处理,研究了不同处理下红小豆成熟期农艺性状、产量性状及品质性状的差异。结果表明:蚯蚓粪与化肥配施可显著提高红小豆株高、叶面积等农艺性状,以T2处理效果最佳,其株高和叶面积较CK分别提高了42.52%和20.54%,均优于纯化肥处理;各蚯蚓粪处理中,红小豆可溶性糖和可溶性蛋白总量均有所提升,其中T2处理的可溶性蛋白含量较CK和T1处理分别提高了71.87%和19.34%,T4处理的可溶性糖较CK和T1分别提高了47.93%和37.20%。蚯蚓粪处理对功效成分也有不同程度的提高,其中T2处理的总三萜和 γ -氨基丁酸含量分别较CK提高了50.00%和96.44%,均高于纯化肥处理。T2处理在提高红小豆清除DPPH自由基和羟自由基能力及总抗氧化能力上表现最佳,总抗氧化能力较CK和T1处理分别提高了151.78%和135.76%。红小豆中总三萜含量、 γ -氨基丁酸含量与DPPH自由基清除率、总抗氧化能力均呈极显著正相关($P<0.01$);蚯蚓粪与化肥配施可在一定程度上提升红小豆氨基酸含量,其中T2处理的氨基酸含量较CK和T1处理分别提高了43.64%和7.30%。研究表明20%的蚯蚓粪与80%化肥配施对红小豆具有较好的增产和提质作用。

关键词:红小豆;蚯蚓粪配施化肥;产量;籽粒品质;抗氧化能力

中图分类号:S521;S365 **文献标志码:**A

Effects of combined application of vermicompost and chemical fertilizers on growth and quality of adzuki bean

LIU Xiang, ZHOU Jie, DENG Jinhua, YE Aiping, ZHENG Xi, ZHANG Lixin

(College of life sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A new adzuki bean variety Baohong 947 was taken as the research object to explore the effect of vermicompost and chemical fertilizer on the production and quality of adzuki bean in Guanzhong area of Shaanxi Province. The experiment included five treatments of T1 (pure fertilizer), T2 (20% vermicompost +80% fertilizer), T3 (50% vermicompost +50% fertilizer), T4 (80% vermicompost +20% fertilizer) and CK (no fertilizer). The differences of agronomic characters, yield characters and quality characters of adzuki bean at maturity under different treatments were studied. The results showed that vermicompost combined with chemical fertilizer significantly improved the agronomic traits such as plant height and leaf area. T2 treatment had the best effect. Compared with CK, plant height and leaf area were increased by 42.52% and 20.54%, respectively, which were better than that of pure chemical fertilizer treatment. Compared with CK and T1, the soluble protein content in T2 treatment was increased by 71.87% and 19.34%, respectively. Compared with CK and T1 treatment, the soluble sugar content in T4 treatment was increased by 47.93% and 37.20%, respectively. In addition, vermicompost treatment also increased the effective components to varying degrees. The total triterpenoids and γ -aminobutyric acid contents of T2 treatment were increased by 50.00% and 96.44%, respectively, when compared with CK, which were higher

than those of pure chemical fertilizer treatment. T2 treatment showed the best performance in improving DPPH free radical and hydroxyl free radical scavenging ability and total antioxidant capacity of adzuki bean, which was increased by 151.78% and 135.76% compared with CK and T1 treatment, respectively. The total triterpenoid content and γ -aminobutyric acid content in adzuki bean were significantly positively correlated with DPPH radical scavenging rate and total antioxidant capacity ($P < 0.01$). Vermicompost combined with chemical fertilizer improved the amino acid content of adzuki bean to a certain extent, and the amino acid content of T2 treatment increased by 43.64% and 7.30% compared with CK and T1, respectively. The results showed that 20% vermicompost combined with 80% chemical fertilizer resulted in a better yield and quality of adzuki bean.

Keywords: adzuki bean; vermicompost combined with chemical fertilizer; production; grain quality; antioxidant capacity

红小豆 (*Vigna angularis*) 是豇豆属一年生草本植物^[1], 富含蛋白质、淀粉、总膳食纤维和糖类等大量营养物质以及维生素 B1、B2 和 18 种氨基酸^[2], 同时含有多酚、单宁、鞣质、皂苷类和黄酮类等多种生物活性物质^[3-4], 具有食疗效^[5-6]。红小豆是陕西关中地区种植的小杂粮作物之一。关中属暖温带半干旱、半湿润气候区, 是陕西省干旱发生最严重的区域, 在历史上干旱发生的次数占总年数的 42.25%^[7], 且关中地区自 1980 年后气象干旱有逐渐加重趋势^[8]。红小豆发芽期需水较多, 苗期需水较少, 开花期前后是需水的高峰期, 过于干旱会导致红小豆减产^[9]。此外, 由于化肥的长期施用, 土壤退化、肥力下降成为农业用地的普遍现象。气候条件、土壤肥力成为制约陕西红小豆产业发展的主要因素。

增施有机肥是保持土壤肥力和减少化肥施用的一种传统而有效的方法, 具有增加养分有效性和提高作物产量的双重作用^[10-11]。蚯蚓粪是由蚯蚓消化有机物质而产生的一种质地均一的颗粒状物质, 稳定性高, 具有很好的孔性、通气性, 且含有丰富的有机质。近年来, 学者们针对蚯蚓粪有机肥的保水增肥效应进行了大量研究。吴军虎等^[12]研究表明, 蚯蚓粪可以有效降低土壤容重、显著提高土壤团聚体抗水蚀稳定性、显著提高土壤入渗能力。李彦需等^[13]研究表明蚯蚓粪覆盖可一定程度抑制土壤水分蒸发。叶沙沙等^[14]研究表明施用蚯蚓粪后土壤有机质和全氮含量显著增加。因此, 蚯蚓粪作为有机肥有较好的持水与保肥能力。周东兴等^[15]研究发现, 化肥减量 30%+蚯蚓粪处理在提高土壤碱解氮、速效磷、脲酶、蔗糖酶、磷酸酶和脱氢酶含量上表现最佳。方成等^[16]研究发现, 30%餐厨垃圾源蚯蚓粪+70%化肥处理的玉米产量与纯化肥处理一致, 且提高了维生素 C、可溶性糖和淀粉含量。程亚倩等^[17]研究表明, 70%化肥+30%蚯蚓粪

处理较无肥处理提高了烤烟的根系生物量、烟叶生物量、中部叶硝酸还原酶含量及蔗糖转化酶活性。此外, 蚯蚓粪在番茄^[18]和草莓^[19-20]等栽培中已有广泛应用且效果显著, 但在红小豆应用方面的研究报道较少。本试验旨在通过设置不同比例蚯蚓粪肥与化肥配施, 探究其对红小豆生长发育、籽粒品质和营养价值的影响, 为提高干旱条件下红小豆的产量和品质提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试红小豆品种为保红 947, 购自保定市农业科学研究所。

供试化肥为商品复合肥 ($N : P_2O_5 : K_2O = 10 : 10 : 20$); 蚯蚓粪有机肥以牛粪为原料, 平铺为长 10 m、宽 1.5 m、高 0.15~0.2 m 的长条状, 露天自然腐熟 30 d 后接种适量大平 2 号蚯蚓, 并覆盖秸秆或草帘, 再堆肥 2~3 月制成 (含有机质 $22.70 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全氮 $12.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 碱解氮 $382.56 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效磷 $1711.90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾 $1935.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

1.2 试验设计

试验于 2019 年在陕西省杨凌区西北农林科技大学生物健康农业示范园进行。试验地土壤类型为壤土, 肥力中等, 肥效均匀, 地势平坦, 排水良好, 灌溉便利。0~20 cm 土层基本理化性状为: 有机质含量 $18.10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效氮 $23.12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效磷 $48.21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾 $232.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 9.07。试验设 5 个处理: CK: 不施肥; T1: 纯化肥; T2: 20% 蚯蚓粪+80% 化肥; T3: 50% 蚯蚓粪+50% 化肥; T4: 80% 蚯蚓粪+20% 化肥。除 CK 不施肥外, 其他处理均保持施氮量一致 ($125 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), 见表 1。每个处理设 3 个重复, 各小区随机排列, 小区面积 39 m^2 , 行距 50 cm, 株距 20 cm, 每小区 4 行, 人工点播,

每穴两株,肥料一次性全施,不追肥,常规田间管理。

1.3 测定项目与方法

于红小豆成熟期取样,每个小区选择 5 株具有代表性的植株,测定农艺指标和产量指标;对红小豆籽粒风干过筛后用于测定各成分指标。

植株农艺性状和产量性状参考程须珍等^[21]的方法测定;可溶性糖含量参考高向阳^[22]硫酸-蒽酮比色法测定;可溶性蛋白含量参考高俊凤^[23]考马斯亮蓝法测定;总酚和 γ -氨基丁酸含量参考任传英等^[24]的方法进行提取并测定;总黄酮含量参考《NY/T 1295-2007 荞麦及其制品中总黄酮含量的测定》测定^[25];DPPH 清除率参考姚鑫森等^[26]的方法测定;羟自由基清除能力和总抗氧化能力采用北京索莱宝科技有限公司试剂盒进行测定。总三萜含量参考闫婕等^[27]的方法,运用香草醛-冰醋酸-高氯酸比色法测定;氨基酸含量采用氨基酸自动分析仪(日本 Hitachi 公司生产,型号:L-8900 型)测定。

1.4 数据处理

使用 Excel 2016 进行数据统计和绘图,运用 SPSS 20.0 软件进行显著性分析及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 对红小豆农艺性状的影响

从表 2 可以看出,蚯蚓粪与化肥配施均能不同程度地提高红小豆的农艺性状,其中红小豆株高以 T2 处理最优,较 CK 和 T1 处理分别提高了 42.52% 和 4.57%,红小豆叶面积也以 T2 处理为最优,较 CK 处理和 T1 处理分别提高了 20.54% 和 11.93%。随蚯蚓粪施用比例增加,各处理的红小豆茎粗和分枝数没有显著差异($P>0.05$)。综上所述,对红小豆施用合适用量的蚯蚓粪可明显提高红小豆的株高和叶面积,而对红小豆的茎粗和分枝数影响不明显。

2.2 对红小豆产量性状的影响

由表 3 可知,蚯蚓粪与化肥配施可以改善红小豆产量性状。其中,以 T2 处理红小豆单株粒重和百粒重最高,显著高于 CK 和 T1 处理($P<0.05$);红小豆荚长以 T4 处理最优,显著高于 CK 和 T1 处理

($P<0.05$),但与 T2 处理没有显著差异($P>0.05$)。此外,红小豆荚宽、荚粒数和单株荚数在各处理之间没有显著差异($P>0.05$),说明蚯蚓粪及化肥的施用对红小豆的荚宽、荚粒数和单株荚数的影响不明显。

2.3 对红小豆品质性状的影响

2.3.1 对红小豆可溶性蛋白及可溶性糖含量的影响 如图 1 所示,不同比例蚯蚓粪处理对红小豆可溶性蛋白(除 T3 外)和可溶性糖含量均有显著的提升作用($P<0.05$)。其中 T2 处理的可溶性蛋白含量显著最高,较 CK 处理显著提高了 71.87%,较 T1 处理显著提高了 19.34%(图 1A);红小豆可溶性糖含量 T4 处理最高,较 CK、T1 和 T2 处理分别显著提高了 47.93%、37.20% 和 17.17%。

表 1 小区试验的施氮量和施肥量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

处理 Treatment	商品复合肥 Commercial compound fertilizer		蚯蚓粪有机肥 Vermicompost	
	施氮量 Nitrogen application	施肥量 Amount of fertilizer applied	施氮量 Nitrogen application	施肥量 Amount of fertilizer applied
CK	0.0	0	0.0	0
T1	125.0	500	0.0	0
T2	100.0	400	25.0	2032
T3	62.5	250	62.5	5081
T4	25.0	100	100.0	8128

表 2 施用蚯蚓粪对红小豆农艺性状的影响

处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎粗/mm Stem diameter	分枝数 Branch number	叶面积/ cm^2 Leaf area
CK	38.03±2.93b	7.88±0.37a	4.67±0.58b	13.00±1.00b
T1	51.83±5.25a	8.08±0.39a	6.00±0.00a	14.00±1.00ab
T2	54.20±4.56a	8.07±0.25a	6.67±0.58a	15.67±1.15a
T3	47.77±7.59ab	7.53±0.99a	6.33±0.58a	14.33±0.58ab
T4	50.60±8.01a	7.99±0.27a	6.67±0.58a	15.33±0.58ab

注:同列数据后不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Different lowercase letters indicate that the difference was significant ($P<0.05$), the same as below.

表 3 施用蚯蚓粪对红小豆产量性状的影响

Table 3 Effects of vermicompost application on yield characteristics of adzuki bean

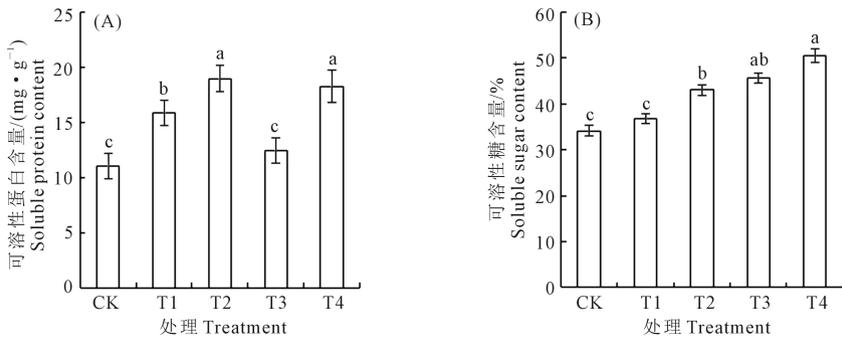
处理 Treatment	单株粒重/g Seed weight per plant	荚长/cm Pod length	荚宽/cm Pod width	荚粒数 Single pod seed number	百粒重/g 100-seed weight	单株荚数 Pod number per plant
CK	7.28±0.37c	8.93±0.48bc	0.74±0.04a	7.40±0.89a	18.22±0.40b	24.40±2.70a
T1	7.23±0.20c	8.88±0.28c	0.71±0.05a	7.00±0.71a	15.90±0.16c	26.40±8.71a
T2	10.01±0.16a	9.32±0.29ab	0.82±0.04a	8.00±0.00a	20.37±0.83a	32.20±7.92a
T3	7.67±0.30b	8.83±0.13c	0.73±0.12a	7.00±0.71a	20.19±0.16a	26.00±6.25a
T4	8.00±0.36b	9.54±0.26a	0.76±0.03a	7.20±0.84a	18.83±0.86b	25.20±2.17a

2.3.2 对红小豆功效成分含量的影响 从图 2 可以看出,蚯蚓粪与化肥配施对红小豆总三萜、总酚、总黄酮和 γ -氨基丁酸含量的影响不同。由图 2A 可知,配施蚯蚓粪后红小豆总三萜含量以 T2 处理(20%蚯蚓粪+80%化肥)最高,达 $0.63 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,较 CK 和纯化肥处理(T1)分别显著增加了 50.00%和 53.66% ($P < 0.05$)。由图 2B 可知,随蚯蚓粪含量增加,红小豆总酚含量呈现先上升后下降的趋势,其中 T2 处理总酚含量最高,达 $2.92 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,较 CK 和纯化肥处理(T1)分别显著提高了 26.41%和 7.35% ($P < 0.05$)。

由图 2C 可见,T2 处理的总黄酮含量最高,相比 CK 显著提高了 5.96% ($P < 0.05$),但不同施肥处理

间无显著差异。由图 2D 可知,添加一定量的蚯蚓粪可显著提高红小豆中 γ -氨基丁酸含量,其中 T2 处理的 γ -氨基丁酸含量显著高于其他处理 ($P < 0.05$),较无肥处理 CK 显著提高了 96.44%,较纯化肥处理(T1)显著提高了 40.43%。

2.3.3 对红小豆抗氧化能力的影响 由图 3A 可见,蚯蚓粪与化肥配施对红小豆 DPPH 自由基清除能力影响不同。各处理的 DPPH 自由基清除能力范围分布在 82%~95%之间,其中以 T2 处理(20%蚯蚓粪+80%化肥)的 DPPH 清除能力最高,可以达到 95.32%,较 CK 和纯化肥处理(T1)分别显著增加了 11.76%和 5.56% ($P < 0.05$)。



注:不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$),下同。

Note: Different letters on the column indicate significant differences between treatments ($P < 0.05$), the same as below.

图 1 不同处理下红小豆可溶性蛋白及可溶性糖含量变化

Fig.1 Changes of soluble protein and soluble sugar contents in adzuki bean under different treatments

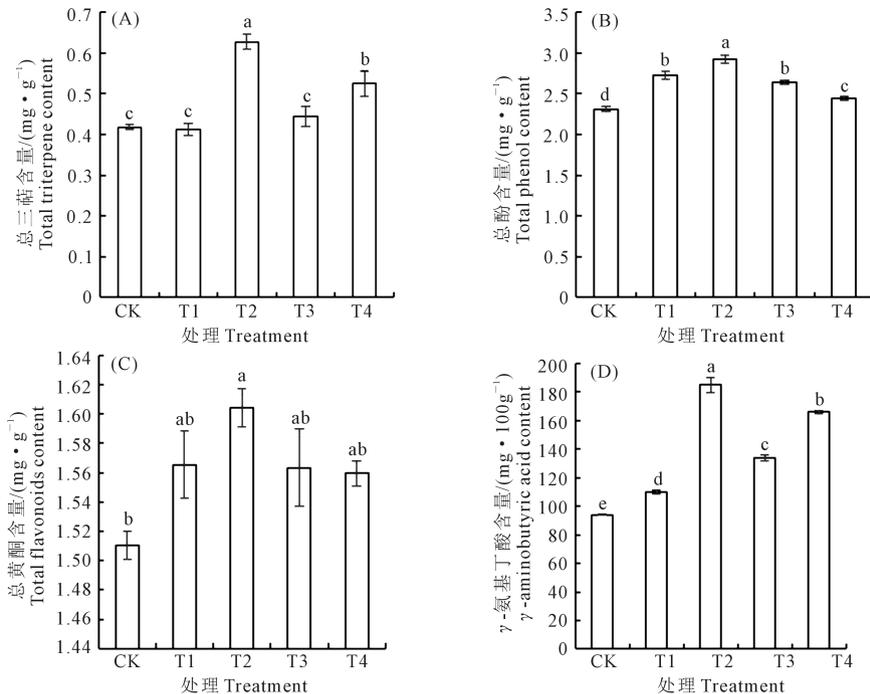


图 2 不同处理下红小豆功效成分含量变化

Fig.2 Changes of functional components in adzuki bean under different treatments

不同比例的蚯蚓粪处理下红小豆的羟自由基清除能力如图 3B 所示,各处理均对羟自由基清除能力有提升作用但差异不显著,且随着蚯蚓粪施用比例的增加(T2~T4)呈递减趋势。其中以 20% 蚯蚓粪+80% 化肥处理(T2)对羟自由基的清除率最大,较 CK 和纯化肥处理(T1)分别增加了 78.26% 和 64.02%。

从图 3C 可以看出,配施蚯蚓粪处理对红小豆总抗氧化能力有显著的提升作用($P<0.05$)。其中 20% 蚯蚓粪+80% 化肥处理(T2)在各处理中最优,总抗氧化能力最强,其较 CK 和 T1 处理分别提高了 151.78% 和 135.76%。

2.3.4 红小豆功效成分与抗氧化活性的相关性分析 通过对红小豆功效成分与抗氧化活性进行相关性分析,由表 4 所示,红小豆中的功效成分总三萜含量和 γ -氨基丁酸与 3 种抗氧化模型中的抗氧化活性均呈正相关。其中 DPPH 自由基清除率与总三萜含量、 γ -氨基丁酸含量呈极显著正相关($P<0.01$)。总抗氧化能力与总三萜、 γ -氨基丁酸含量呈极显著正相关($P<0.01$)。由此可知,总三萜和 γ -氨基丁酸是红小豆抗氧化活性强弱的关键因子。且总三萜含量与总酚含量呈显著正相关($P<0.05$), γ -氨基丁酸与总酚、总黄酮呈显著正相关($P<0.05$),可见,总酚和总黄酮对红小豆抗氧化活性存在间接作用。

2.3.5 红小豆氨基酸含量分析 通过前期对各蚯蚓粪处理红小豆功效成分和抗氧化能力的测定与分析,从中筛选出一个最佳处理(T2),并对该处理和对照处理(CK 和 T1)进行氨基酸含量的检测。测

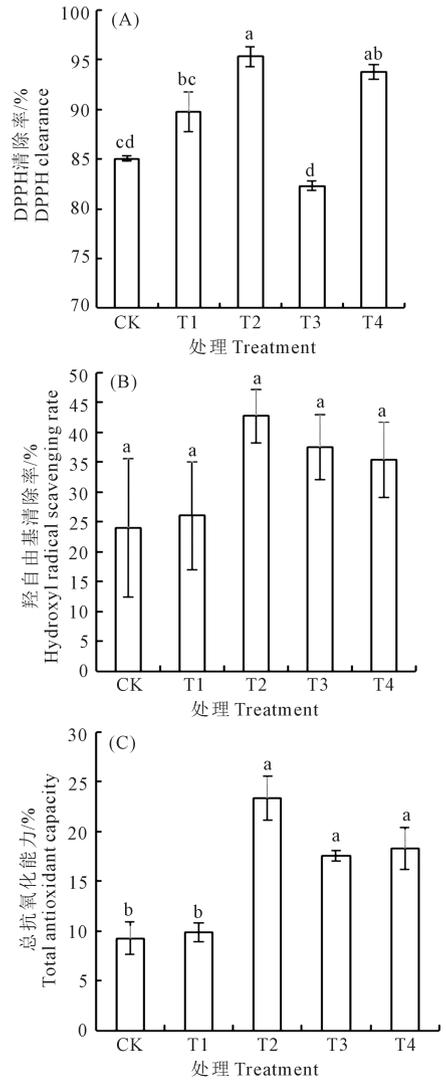


图 3 不同处理下红小豆抗氧化能力变化

Fig.3 Changes of antioxidant capacity of adzuki bean under different treatments

表 4 红小豆功效成分与抗氧化活性的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of functional components of adzuki bean and antioxidant activity

项目 Item	总三萜 Total triterpene	总酚 Total phenol	总黄酮 Total Flavonoids	γ -氨基丁酸 GABA	DPPH 清除率 DPPH clearance	羟自由基 清除率 Hydroxyl scavenging rate	总抗氧化 能力 Total antioxidant capacity
总三萜 Total triterpene	1.000						
总酚 Total phenol	0.555 *	1.000					
总黄酮 Total flavonoids	0.494	0.667 **	1.000				
γ -氨基丁酸 GABA	0.887 **	0.544 *	0.627 *	1.000			
DPPH 清除率 DPPH clearance	0.688 **	0.407	0.478	0.673 **	1.000		
羟自由基清除率 Hydroxyl scavenging rate	0.453	0.259	0.189	0.472	0.121	1.000	
总抗氧化能力 Total antioxidant capacity	0.736 **	0.487	0.490	0.848 **	0.459	0.575 *	1.000

注: * 表示显著相关($P<0.05$), ** 表示极显著相关($P<0.01$)。

Note: * shows significant correlation ($P<0.05$); ** shows extremely significant correlation ($P<0.01$).

定结果如表 5 所示,3 个处理的红小豆中均检测出 7 种必需氨基酸和 10 种非必需氨基酸,其中必需氨基酸以赖氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸含量较高,且 T2 处理的红小豆必需氨基酸总量较 CK 和 T1 处理均有明显提升。T2 处理的非必需氨基酸以谷氨酸、天冬氨酸、精氨酸、脯氨酸含量最高,且较 CK 和 T1 处理也有明显提升。通过比较各处理红小豆的氨基酸总量发现, T2 处理总氨基酸含量较 CK 提高了 43.64%,较纯化肥处理(T1)提高了 7.30%。综上,添加合适比例的蚯蚓粪可一定程度地提高红小豆中各类氨基酸的含量。

表 5 不同施肥处理下红小豆的氨基酸种类及含量

Table 5 Type and content of amino acids under different fertilization treatments

氨基酸种类 Amino acid type	氨基酸含量/(g · 100g ⁻¹) Amino acid content				
	CK	T1	T2		
必需氨基酸 Essential amino acid	赖氨酸 Lys	1.36	1.79	1.88	
	苏氨酸 Thr	0.64	0.86	0.90	
	缬氨酸 Val	0.78	1.04	1.16	
	异亮氨酸 Ile	0.63	0.83	0.94	
	亮氨酸 Leu	1.35	1.76	1.97	
	苯丙氨酸 Phe	0.99	1.26	1.42	
	甲硫氨酸 Met	0.16	0.22	0.26	
	合计 Sum	5.91	7.76	8.53	
	非必需氨基酸 Non-essential amino acid	天冬氨酸 Asp	1.96	2.58	2.74
		谷氨酸 Glu	2.89	3.84	4.12
组氨酸 His		0.54	0.71	0.73	
精氨酸 Arg		1.26	1.75	1.89	
丝氨酸 Ser		0.94	1.25	1.35	
脯氨酸 Pro		1.35	2.00	2.04	
甘氨酸 Gly		0.65	0.90	0.93	
丙氨酸 Ala		0.75	1.01	1.07	
酪氨酸 Tyr		0.50	0.61	0.68	
胱氨酸 Cys		0.14	0.20	0.18	
合计 Sum	10.98	14.85	15.73		
总氨基酸 Total amino acids	16.89	22.61	24.26		

3 讨论

蚯蚓粪是一种良好的腐熟有机肥料,具有孔隙多、通气性好和排水性好等优点。添加蚯蚓粪能够改善土壤的理化性质、增加土壤养分、提高微生物丰度和土壤中多种酶的活性^[28]。因此,蚯蚓粪常作为有机肥用于提高土壤肥效、促进作物提质增产。有研究表明,施用蚯蚓粪对番茄具有良好的作用效果,改善了番茄农艺性状,促进了番茄植株长势,显著提高其坐果率^[29]和产量^[30]。陆萍等^[19]研究表明,蚯蚓粪可促进草莓植株生长,显著提高草莓鲜果产量,提高草莓糖度,改善其品质。陈歆等^[31]发

现蚯蚓粪对辣椒生长也有促进作用,施用蚯蚓粪后,辣椒植株茎高增加,植株分叉增多,生长发育的潜力增强。此外,左亚男^[20]研究发现当蚯蚓粪比例低于 30%时,整体上作物长势随蚯蚓粪含量的增加而升高。此外,研究表明蚯蚓粪有机肥可增加菠菜^[32]和番茄^[18]中可溶性糖、维生素 C、可溶性蛋白质含量等品质指标。本研究中蚯蚓粪配施化肥可有效提高红小豆可溶性糖和可溶性蛋白含量,与前人研究结果相近。

张宁^[33]研究发现添加蚯蚓粪可提高番茄 DPPH 自由基清除能力、羟基自由基($\cdot\text{OH}$)清除能力。王东红等^[34]研究发现添加蚯蚓粪可显著提高樱桃萝卜中抗氧化物质类黄酮、总酚等含量,抗氧化能力有所提升。莫雨轩等^[35]在铁皮石斛栽培基质中添加蚯蚓粪后其多种酶活性以及黄酮含量提高,抗氧化能力显著增强。周洁^[36]研究发现普通和纳米两种颗粒粒径的蚯蚓粪对改善红小豆的药用成分效果明显,两种颗粒粒径的蚯蚓粪均能显著提高红小豆总三萜、总酚、 γ -氨基丁酸含量及氨基酸总量,本研究结果与前人基本一致。此外,随着添加的蚯蚓粪比例提高,其作用效果相对减弱,这与王艳芳等^[30]的研究结果一致。红小豆总抗氧化能力与总三萜、 γ -氨基丁酸含量呈显著正相关,总酚含量与总黄酮含量显著正相关,这与任传英等^[24]的研究结果一致。

许馨予等^[37]对黑龙江主栽红小豆营养成分进行了分析,表明红小豆中 8 种必需氨基酸含量齐全,非必需氨基酸谷氨酸、天冬氨酸、精氨酸含量较高。彭海等^[38]对 10 种红小豆氨基酸含量进行了检测,结果显示其含量平均在 19.153~22.295 g · 100g⁻¹之间。本试验发现,蚯蚓粪对红小豆籽粒氨基酸的积累具有一定的促进作用。

4 结论

蚯蚓粪与化肥配施可以提高红小豆的株高和叶面积,促进红小豆植株的生长发育,增加红小豆的单株粒重和百粒重,从而提高红小豆的产量。施用蚯蚓粪可以提高红小豆可溶性多糖和可溶性蛋白总量以及总三萜、总酚、总黄酮和 γ -氨基丁酸等药用功效成分含量,增强了红小豆的 DPPH 自由基和羟自由基清除能力,进而提高了红小豆的功效品质。因此,通过施用合适比例(20%蚯蚓粪+80%化肥)的蚯蚓粪可以促进红小豆植株生长和提高红小豆的产量及品质,同时减少化肥的施用,具有推广价值。

参考文献:

- [1] 蒋陵秋,金文林.小豆生长发育规律的研究——Ⅷ小豆短日处理的效应[J].北京农学院学报,1991,(1):22-28.
JIANG L Q, JIN W L. Studies on the growth and development of adzuki bean (*Vigna angularis* Ohwi and Ohashi)Ⅷ. the effect of short daylength control of adzuki bean[J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 1991,(1): 22-28.
- [2] 于章龙,段欣,武晓娟,等.红小豆功能特性及产品开发现状[J].食品工业科技,2011,32(1):360-363.
YU Z L, DUAN X, WU X J, et al. Research progress in function characteristic of red bean and its food development[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(1): 360-363.
- [3] ITOH T, KITA N, KUROKAWA Y, et al. Suppressive effect of a hot water extract of adzuki beans (*Vigna angularis*) on hyperglycemia after sucrose loading in mice and diabetic rats[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2004, 68(12): 2421-2426.
- [4] 卫莹芳,闫婕,王化东,等.赤小豆总黄酮分光光度分析方法建立及全国不同产地药材含量测定[J].时珍国医国药,2010,21(11):2729-2731.
WEI Y F, YAN J, WANG H D, et al. UV-VIS analysis method of total flavonoids in adzuki bean and determination of different origin herbs[J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2010, 21(11): 2729-2731.
- [5] 马瑞萍,任顺成.红小豆的保健功能及加工利用[J].粮食科技与经济,2012,37(3):36-37.
MA R P, REN S C. Health function and processing and utilization of adzuki bean[J]. Grain Science and Technology and Economy, 2012, 37(3): 36-37.
- [6] HORI Y, SATO S, HATAI A. Antibacterial activity of plant extracts from azuki beans (*Vigna angularis*) in vitro[J]. Phytotherapy Research, 2006, 20(2): 162-164.
- [7] 何慧娟,卓静,李红梅,等.基于MOD16产品的陕西关中地区干旱时空分布特征[J].干旱地区农业研究,2016,34(1):236-241.
HE H J, ZHUO J, LI H M, et al. Spatial-temporal distribution characteristics of drought in Guanzhong region of Shaanxi province based on Mod16 products[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016, 34(1): 236-241.
- [8] 谭学志,栗晓玲,邵东国.基于SPI的陕西关中地区气象干旱时空特征分析[J].干旱地区农业研究,2011,29(2):224-229.
TAN X Z, SU X L, SHAO D G. Analysis of spatial and temporal characteristics of meteorological drought in guanzhong region of Shaanxi province[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(2): 224-229.
- [9] 尹智超.绿豆与红小豆氮磷钾优化施肥数学模型的建立及应用[D].长春:吉林大学,2020.
YIN Z C. Establishment and application of mathematical models for nitrogen, phosphorus and Potassium fertilization on mung bean and adzuki bean[D]. Changchun: Jilin University, 2020.
- [10] 杜春燕,张齐,冯涛,等.有机肥与化肥对樱桃产量、品质及叶片养分的影响[J].干旱地区农业研究,2020,38(2):105-109,115.
DU C Y, ZHANG Q, FENG T, et al. Effects of organic and chemical fertilizers on yield, quality and leaf nutrient of cherry [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2020, 38(2): 105-109, 115.
- [11] 木合塔尔·扎热,哈地尔·依沙克,赵蕾,等.有机肥与化肥配施对土壤微生物、土质及骏枣果实品质的影响[J].干旱地区农业研究,2017,35(5):182-188.
MUHTAR ZARI, ABDUKADIR ISAH, ZHAO L, et al. Effects of different application proportion of organic manure and chemical fertilizer on fruit quality of Jun jujube, soil microorganism and properties[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(5): 182-188.
- [12] 吴军虎,邵凡凡,刘侠.蚯蚓粪对土壤团聚体组成和入渗过程水分运移的影响[J].水土保持学报,2019,33(3):81-87.
WU J H, SHAO F F, LIU X. Effects of earthworm casts on soil aggregate composition and water transport during infiltration[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2019, 33(3): 81-87.
- [13] 李彦雷,邵明安,王娇.蚯蚓粪覆盖对土壤水分蒸发过程的影响[J].土壤学报,2018,55(3):633-640.
LI Y P, SHAO M A, WANG J. Effects of earthworm cast mulch on soil evaporation[J]. Acta Pedologica Sinica, 2018, 55(3): 633-640.
- [14] 叶沙沙,杨成,孙艳,等.蚯蚓粪施用对土壤氮含量及形态的影响[J].地球与环境,2021,49(6):665-672.
YE S S, YANG C, SUN Y, et al. Effects of vermicompost application on the content and forms of soil nitrogen[J]. Earth and Environment, 2021, 49(6): 665-672.
- [15] 周东兴,李欣,宁玉翠,等.蚯蚓粪配施化肥对稻田土壤性状和酶活的影响[J].东北农业大学学报,2021,52(2):25-35.
ZHOU D X, LI X, NING Y C, et al. Effect of chemical fertilizer combined with vermicompost on soil characters and enzyme activity in paddy fields[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2021, 52(2): 25-35.
- [16] 方成,代子雯,李伟明,等.化肥减施配施不同有机肥对甜糯玉米产量和品质的影响[J].生态学杂志,2021,40(5):1347-1355.
FANG C, DAI Z W, LI W M, et al. Effects of reduced chemical fertilizer with organic fertilizer application on the yield and grain quality of sweet-waxy corn[J]. Chinese Journal of Ecology, 2021, 40(5): 1347-1355.
- [17] 程亚倩,周洁,李司童,等.蚯蚓粪肥对陕西烟区烤烟生长及品质的影响[J].西南农业学报,2020,33(2):347-356.
CHENG Y Q, ZHOU J, LI S T, et al. Effect of earthworm cast on growth and quality of flue-cured tobacco from Shaanxi province[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(2): 347-356.
- [18] 刘学才,陈玲,李胜奇,等.施蚯蚓粪对日光温室土壤及番茄产量与品质的影响[J].应用生态学报,2021,32(2):549-556.
LIU X C, CHEN L, LI S Q, et al. Effects of vermicompost fertilization on soil, tomato yield and quality in greenhouse[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(2): 549-556.
- [19] 陆萍,陈宇佳,张蓉,等.蚯蚓粪有机肥在草莓上的应用效果研究[J].现代农业科技,2021,(2):29-30,37.
LU P, CHEN Y J, ZHANG R, et al. Research on application effect of vermicompost fertilizer on strawberry[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2021, (2): 29-30, 37.
- [20] 左亚男.蚯蚓粪对草莓植株生长发育的影响及作用机制[D].沈阳:沈阳农业大学,2017.
ZUO Y N. Effects and mechanism of vermicompost on growth and development of strawberry[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural Uni-

- versity, 2017.
- [21] 程须珍,王素华,王丽侠.小豆种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2006:9-26.
CHENG X Z, WANG S H, WANG L X. Descriptors and data standard for adzuki bean [*Vigna angularis* (Willd) Ohwi & Ohashi] [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006:9-26.
- [22] 高向阳.食品分析与检验[M].北京:中国计量出版社,2006:130-140.
GAO X Y. Food analysis and inspection [M]. Beijing: China Metrology Publishing House, 2006:130-140.
- [23] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006:142-143.
GAO J F. Experimental guidance for plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 142-143.
- [24] 任传英,卢淑雯,高扬,等.几种红小豆功效成分与抗氧化性的对比分析[J].食品科技,2016,41(6):109-112.
REN C Y, LU S W, GAO Y, et al. Comparison of several red bean functional component and antioxidation[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(6): 109-112.
- [25] 中华人民共和国农业部.NY/T 1295-2007 荞麦及其制品中总黄酮含量的测定[S].北京:中国农业出版社,2007.
Ministry of Agriculture of the PRC. NY/T 1295-2007 Determination of flavones in buckwheat and its products [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.
- [26] 姚鑫森,郑先哲,卢淑雯,等.蒸煮对红小豆及其汤汁抗氧化特性的影响[J].东北农业大学学报,2015,46(1):101-108.
YAO X M, ZHENG X Z, LU S W, et al. Effect of cooking on antioxidant activity of adzuki beans and its soup[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2015, 46(1): 101-108.
- [27] 闫婕,卫莹芳,龙飞,等.不同产地赤小豆总三萜的含量测定及品质评价[J].时珍国医国药,2012,23(2):305-306.
YAN J, WEI Y F, LONG F, et al. Determination and quality evaluation of total triterpenoids in red aduki bean from different producing areas[J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2012, 23(2): 305-306.
- [28] YANG L J, ZHAO F Y, CHANG Q, et al. Effects of vermicomposts on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes[J]. Agricultural Water Management, 2015, 160: 98-105.
- [29] 周东兴,申雪庆,周连仁,等.蚯蚓粪对番茄农艺性状和品质的影响[J].东北农业大学学报,2012,43(11):28-33.
ZHOU D X, SHEN X Q, ZHOU L R, et al. Effect of vermicompost on agronomic characters and quality of tomato [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2012, 43(11): 28-33.
- [30] 王艳芳,王聪聪,武喆.羊粪和蚯蚓粪对番茄农艺性状和品质的影响[J].北方园艺,2020,(10):51-55.
WANG Y F, WANG C C, WU Z. Effects of sheep and earthworm manure on the agronomic traits and quality of tomato[J]. Northern Horticulture, 2020,(10): 51-55.
- [31] 陈歆,李玮,彭黎旭,等.不同施肥处理对辣椒植株形态、产量及养分累积的影响[J].热带作物学报,2021,42(7):1995-2000.
CHEN X, LI W, PENG L X, et al. Effects of different fertilization treatments on the shape, yield and nutrient accumulation of *Capsicum annuum* L.[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(7): 1995-2000.
- [32] 王小波,卢树昌,王瑞,等.蚯蚓粪与蛭石结合对设施菠菜生长和品质的影响[J].北方园艺,2014,(18):63-66.
WANG X B, LU S C, WANG R, et al. Effect of vermicompost and vermiculite on the growth and quality of spinach in greenhouse[J]. Northern Horticulture, 2014,(18): 63-66.
- [33] 张宁.蚯蚓堆肥对西瓜和番茄生长、品质及产量的影响[D].泰安:山东农业大学,2012.
ZHANG N. Effects of vermicompost on growth, quality and yields of watermelon and tomato [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2012.
- [34] 王东红,史庆华,王秀峰,等.蚯蚓粪对樱桃萝卜生长和品质的影响[J].山东农业科学,2010,(9):26-30.
WANG D H, SHI Q H, WANG X F, et al. Effects of vermicompost application on growth and quality of cherry radish[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2010,(9): 26-30.
- [35] 莫雨轩,张浩涵,田红怡,等.蚯蚓粪对铁皮石斛抗氧化能力及次生代谢产物的影响[J].应用与环境生物学报,2017,23(4):642-647.
MO Y X, ZHANG H H, TIAN H Y, et al. Effects of vermicompost on antioxidant capacity and secondary metabolites of *Dendrobium officinale*[J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2017, 23(4): 642-647.
- [36] 周洁.蚯蚓粪对土壤特性及红小豆生长与药用成分的影响[D].咸阳:西北农林科技大学,2020.
ZHOU J. Effects of vermicompost on soil characteristics and growth and medicinal ingredients of adzuki bean[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2020.
- [37] 许馨予,杨鸽隼,贾斌,等.黑龙江省主栽红小豆蛋白质营养价值评价[J].中国粮油学报,2021,36(5):29-34.
XU X Y, YANG H J, JIA B, et al. Evaluation of protein nutritional value of main cultivated adzuki bean in Heilongjiang province [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(5): 29-34.
- [38] 彭海,张静,陈禅友.利用改良的氨基酸测定方法检测野生红小豆(*Vigna angularis*)品系氨基酸含量[J].江汉大学学报(自然科学版),2013,41(3):74-77.
PENG H, ZHANG J, CHEN C Y. Amino acid content detection in wild strains of adzuki bean (*vigna angularis*) with modified amino acid determination method [J]. Journal of Jiangnan University (Natural Science Edition), 2013, 41(3): 74-77.