

木薯与花生间作对产量和养分的影响

徐海强^{1,2}, 黄洁¹, 魏云霞^{1*}, 李天^{1,2}

(1. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所/农业部木薯种质资源保护与利用重点实验室, 海南 儋州 571737; 2. 海南大学农学院, 海南 海口 570228)

摘要: 设木薯单作、花生单作、木薯与花生间作 3 个处理, 研究间作对木薯与花生产量和养分的影响。结果表明: 与单作木薯、单作花生相比, 在木薯苗期即花生花针期, 间作对木薯和花生的生长影响不大; 在木薯块根形成期即花生结荚期, 间作促进花生的生长, 但木薯的株高、茎径和生物量被抑制; 间作木薯根、茎、叶中氮、磷含量比单作分别降低 16.53%~19.64%、9.20%~25.24%, 根、茎中的钾含量比单作分别降低 31.29%、1.17%; 在木薯块根膨大初期即花生收获期, 虽然间作花生的荚果产量比单作降低 19.25%, 但间作中花生偏土地当量比 $P_{LER} > f$, 花生表现为间作产量优势, 木薯表现为间作产量劣势; 在木薯收获期, 间作木薯的株高、茎径、鲜薯产量和淀粉产量均接近于单作木薯, 说明间作木薯在生长过程中存在“竞争-恢复”现象; 共生期, 间作木薯根中钙、镁、锌、锰含量比单作分别提高 18.62%~42.86%、7.84%~44.44%、12.50%~39.84%、24.00%~58.33%, 茎中 4 种微量元素的含量在不同生育期显著增加, 说明间作对木薯根、茎中的钙、镁、锌和锰含量在不同生育期具有“生物强化”作用。

关键词: 木薯; 花生; 间作; 产量; 养分

中图分类号: S533.047

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2018)06-0575-05

Effects of cassava/peanut intercropping on their yield and nutrient

XU Haiqiang^{1,2}, HUANG Jie¹, WEI Yunxia^{1*}, LI Tian^{1,2}

(1. Tropical Crops Genetics Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/Key Laboratory of Conservation and Utilization of Cassava Genetic Resources, Ministry of Agriculture, Danzhou, Hainan 571737, China; 2. College of Agronomy, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: To study the effects of cassava/peanut intercropping(C/P) on their yield and nutrient content, three treatments:cassava monoculture(MC), peanut monoculture(MP) and cassava/peanut intercropping(C/P) were conducted. Compared to MC or MP alone, at seedling stage of cassava (flowering-pegging stage of peanut), C/P had very few influence on the growth of cassava and peanut. However, at foot formation stage of cassava (pod setting stage of peanut), the biomass of intercropped peanut in stem and leaf significantly gained significantly, while the height, stem diameter and biomass of intercropped cassava were obviously suppressed. The N,P content of intercropped cassava in root, stem, leaf decreased 16.53%–19.64%, 9.20%–25.24%, respectively; while the K content of intercropped cassava in root and stem decreased 31.29% and 1.17%, respectively. At root early enlargement stage of cassava (mature stage of peanut), although the pod yield of intercropped peanut significantly decreased by 19.25%, intercropped peanut showed yield advantage and intercropped cassava showed yield disadvantage when compared the land equivalent ratio of cassava with peanut. At harvest stage of cassava, the height, stem diameter, starch yield and fresh root yield of intercropped cassava were close to MC, indicating that intercropped cassava had competition-recovery effect during the growth stage of cassava. Compared with MC, the calcium, magnesium, zinc and manganese content of intercropped cassava in foot increased 18.62%–42.86%, 7.84%–44.44%, 12.50%–39.84%, 24.00%–58.33%, respectively during the co-growth stage, and the above 4 elements significantly increased in the intercropped cassava stem at different growing stage. The results indicated that calcium, magnesium, zinc and manganese biofortification strategies can be reached in cassava foot and stem by

收稿日期: 2017-10-30

修回日期: 2018-01-14

基金项目: 国家现代木薯产业技术体系栽培生理岗(CARS-11-hnhj); 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所非营利性科研机构改革专项启动费资助项目(PZSFYL-201620)

作者简介: 徐海强(1990—), 男, 安徽阜阳人, 硕士, 主要从事木薯间套作栽培研究, xuhaiqiang5135@163.com; *通信作者, 魏云霞, 硕士, 研究实习员, 主要从事木薯栽培与推广研究, mydearxiaowei@126.com

intercropping with peanut at different growing stages.

Keywords: cassava; peanut; intercropping; yield; nutrient

木薯(*Manihot esculenta* Crantz)植株较高,株行距较宽,苗期生长慢,有3~4个月的不封行期;而花生(*Arachis hypogaea* Linnaeus)生育期短,植株矮小,适宜间套作。木薯与花生间作既可充分利用土地和光热资源,又能提高作物产量和经济效益,是较为理想的间作搭配模式。目前,关于该模式的研究主要集中在优化株行距配置^[1]、作物对氮磷钾的吸收利用^[2]、光合生理^[3-5]、土壤微生态^[6-7]、产量效益^[8]等方面。关于木薯与花生间作模式是否存在“竞争-恢复”现象,是否对木薯和花生的中、微量元素具有“生物强化”作用,均少见报道。本研究中,通过试验分析木薯花生间作模式对作物产量和养分的影响,探讨其“竞争-恢复”与“生物强化”现象,现将结果报告如下。

1 材料与方法

1.1 供试品种与土壤

木薯品种为华南12号(SC12);花生品种为贵州中白沙。0~20 cm土层的基本理化性质:pH 5.04;有机质含量为1.05%;碱解氮、速效磷和速效钾含量分别为51.96、34.91、62.44 mg/kg。

1.2 试验设计与田间管理

试验于2015年在海南省中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所进行。试验分采样区和测产区,拉丁方设计。设木薯单作、花生单作、木薯与花生间作3个处理;3次重复。花生、木薯株行距分别为0.2 m×0.3 m、0.8 m×0.9 m;在间作处理中,2行木薯行间作2行花生,相邻木薯行与花生行之间的间距均为0.3 m。

2015年3月26日,同时种植木薯和花生。将木薯种茎锯成长20 cm的茎段,每穴平放1段种茎,芽眼朝南;每穴播3粒花生,齐苗后间苗,每穴留2株花生苗。常规管理,不施肥。8月2日收获花生;12月28日收获木薯。

1.3 取样与样品处理

于5月26日(木薯苗期、花生花针期)、7月3日(木薯块根形成期、花生结荚期)、8月2日(木薯块根膨大初期、花生成熟期)和12月28日(木薯收获期),单作区分别挂牌标记长势基本一致的木薯和花生各5株,间作区挂牌标记长势基本一致的5株

木薯及与木薯相邻的2株花生,测定株高和茎径;挖出整株木薯和花生,分离根(木薯根包含细根、纤维根和块根)、茎、叶及花生的荚果,洗净,晾干,称生物量;切碎混匀,105℃杀青30 min,60℃烘干至恒重,测干物质质量,粉碎,过筛(孔径0.150 mm),分别取15~30 g根、茎、叶干样于密封袋中,用于测定其养分含量。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 株高和茎径的测定

木薯株高是从地面至植株顶端生长点的高度,茎径是离地面10 cm处主茎的直径;花生株高是主茎地面到顶叶叶节的高度,茎粗是离地面5 cm的主茎直径。

1.4.2 产量的测定

收获时,取测产区单作和间作处理中的中间2列共10株木薯,称其鲜薯质量;在测产区,收获间作花生区中间的8行,每行收14穴,单作区,花生收中间16行,每行14穴,晒干花生荚果至恒重,称重记产;计算偏土地当量比 P_{LER} (land equivalent ratio)^[5]。把间作中的木薯、花生种植面积分别占间作总面积的比值定义为 f ,若 $P_{LER} < f$,为间作产量劣势,若 $P_{LER} > f$,为间作产量优势^[5]。

1.4.3 养分的测定

采用氯化钙旋光法^[9]测定木薯干样的淀粉含量,折算成鲜薯淀粉含量。

按照文献[10]的方法, $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮植物样品后,分别用凯氏定氮仪、钼锑抗比色法、火焰光度法测量氮、磷、钾含量; HNO_3-HClO_4 消煮植物样品后,采用原子吸收分光光度法测量钙、镁、锌、锰含量。

1.5 数据分析

采用SAS 9.0进行差异显著性分析;采用新复极差法(Duncan)进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 间作对花生农艺性状的影响

分析间作花生的农艺性状(表1),结果表明:花针期、结荚期和成熟期,间作花生的株高、茎粗都

高于单作花生。其中，结荚期间作花生的株高、茎粗分别比单作提高 32.96%、5.67%，差异达极显著水平；茎、叶的生物量分别比单作花生提高 33.33% 和 50%，说明间作能促进结荚期花生茎、叶的生长。成熟期，间作花生茎的生物量比单作降低 18.75%，且差异显著；叶的生物量比单作降低 50%，且差异达极显著水平，说明间作会抑制花生后期茎、叶的生长。

表1 间作花生的农艺性状

Table 1 The agronomic traits of peanut of cassava/peanut intercropping

生育期	处理	株高/cm	茎粗/mm	生物量/(t·hm ⁻²)		
				根	茎	叶
花针期	单作	9.97	4.10	0.11	0.25bA	0.40
	间作	10.03	4.06	0.10	0.45aA	0.60
结荚期	单作	13.32bB	4.23bB	0.17	0.48	0.60bA
	间作	17.71aA	4.47aA	0.16	0.64	0.90aA
成熟期	单作	16.75	4.31	0.20	0.64aA	0.60aA
	间作	18.59	4.82	0.20	0.52bA	0.30bB

同一生育期内同列不同大、小写字母分别表示差异极显著($P < 0.01$)、显著($P < 0.05$)。

2.2 间作对木薯农艺性状的影响

分析间作木薯的农艺性状(表 2)，结果表明：在木薯块根形成期和膨大初期，间作木薯的株高、茎径及根、茎、叶生物量比单作木薯降低 12.78%~

表2 间作木薯的农艺性状

Table 2 The agronomic traits of cassava under cassava/peanut intercropping

生育期	处理	株高/cm	茎径/mm	生物量/(t·hm ⁻²)		
				根	茎	叶
苗期	单作	8.11	15.79	0.02	0.07	0.16
	间作	7.21	13.20	0.02	0.07	0.17
块根形成期	单作	52.46aA	15.81aA	0.55	0.71aA	0.72
	间作	40.86bA	13.79bA	0.45	0.50bA	0.58
块根膨大初期	单作	101.48	20.78	1.73aA	1.40	1.64aA
	间作	80.41	17.10	1.26bB	1.18	1.16bB
收获期	单作	185.75	26.00	13.87	5.89	2.02
	间作	175.25	23.95	13.50	4.65	1.86

同一生育期内同列不同大、小写字母分别表示差异极显著($P < 0.01$)、显著($P < 0.05$)。

表4 间作花生氮、磷、钾的含量

Table 4 The N, P, K content of peanut under cassava/peanut intercropping

生育期	处理	氮含量			磷含量			钾含量		
		根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶
花针期	单作	0.66	0.77	0.92	0.70	0.81	0.68	0.16	0.26	0.21
	间作	0.48	0.58	0.75	0.64	0.69	0.64	0.17	0.25	0.23
结荚期	单作	0.63 aA	0.50 aA	0.96	0.38	0.33	0.41	0.12	0.19 bA	0.16
	间作	0.59 bA	0.42bA	0.90	0.30	0.23	0.36	0.11	0.21 aA	0.19
成熟期	单作	0.69	0.91	0.97	0.31	0.33	0.49	0.13	0.20	0.18
	间作	0.59	0.75	1.04	0.29	0.35	0.46	0.15	0.28	0.21

同一生育期内同列不同大、小写字母分别表示差异极显著($P < 0.01$)、显著($P < 0.05$)。

29.58%，其中，部分达显著差异，说明共生期内木薯生长受到较大程度的抑制；在木薯收获期，间作木薯的株高、茎径以及根、叶的生物量比单作低 2.67%~7.92%，茎的生物量比单作木薯低 21.05%，但未达显著水平。说明间作木薯在生长后期的生长得到了较好的恢复。

2.3 间作对花生和木薯产量的影响

分析木薯和花生的产量(表 3)，结果表明：间作花生的荚果产量比单作花生低 19.25%，且差异达极显著水平；间作木薯的鲜薯、淀粉产量比单作木薯分别降低 2.7%、4.46%，但均未达显著水平，说明间作对木薯产量影响不大。在花生收获期，间作花生的 $P_{LER}=0.80$ ， $f=0.57$ ，说明花生表现为间作产量优势，在木薯收获期，间作木薯的 $P_{LER}=0.97$ ， $f=0.89$ ，木薯表现为间作产量优势。

表3 木薯、花生的产量

Table 3 The yield of cassava and peanut t/hm²

处理	果实产量		木薯淀粉产量
	花生	木薯	
单作	3.74aA	13.70	3.59
间作	3.02bB	13.33	3.43

同列不同大、小写字母分别表示差异极显著($P < 0.01$)、显著($P < 0.05$)。

2.4 间作对花生氮、磷、钾含量的影响

分析间作花生氮、磷、钾的含量(表 4)，结果表明：在花针期和结荚期，间作花生根、茎、叶中的氮含量比单作花生分别降低 6.35%~27.27%、16%~24.68%、6.25%~18.48%，其中，结荚期的间作花生根、茎中氮含量与单作花生的氮含量差异达显著水平；间作花生根、茎、叶中的磷含量比单作降低 5.88%~30.3%；成熟期，间作花生根、茎中的氮含量分别比单作降低 14.49%、17.58%；全生育期内，间作花生叶中的钾含量比单作提高 9.52%~18.75%。总体上看，间作抑制花生根、茎、叶对氮、磷的吸收，促进对钾的吸收。

2.5 间作对木薯氮、磷、钾含量的影响

分析间作木薯氮、磷、钾的含量(表 5),结果表明:在块根形成期,间作木薯根、茎、叶中的氮、磷含量比单作木薯分别降低 16.53%~19.64%和 9.20%~25.24%,间作木薯根、茎中的钾含量比单作木薯分别降低 31.29%、1.17%,其中,间作木薯根中的氮、磷、钾含量以及茎中的氮、磷含量的下降程度均达显著水平;在块根膨大初期,间作木薯根、

茎、叶中的氮、钾含量比单作提高 14.81%~45.71%和 8.33%~14.29%,间作木薯叶中的磷含量比单作提高 8.47%,间作木薯与单作木薯茎中的钾含量差异达显著水平;收获期的间作木薯茎、叶中的钾含量比单作分别提高 12.30%、22.18%。总体来看,膨大初期和收获期,间作木薯比单作表现出更强的氮、钾养分吸收能力,以茎尤为明显。

表5 间作木薯氮、磷、钾的含量

Table 5 The N, P, K content of cassava under cassava/peanut intercropping

生育期	处理	氮含量			磷含量			钾含量		
		根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶
苗期	单作	0.72	0.72	1.47	0.53	0.83	0.93	2.54	4.07	2.28
	间作	0.72	0.70	1.39	0.59	0.88	0.87	2.95	4.26	2.40
块根形成期	单作	0.36aA	0.56aA	1.21	0.34aA	1.03aA	0.87	1.63aA	2.57	1.82
	间作	0.29bA	0.45bA	1.01	0.27bA	0.77bA	0.79	1.12bA	2.54	1.94
块根膨大初期	单作	0.35	0.35	1.08	0.24	0.56	0.59	1.26	1.65bA	1.82
	间作	0.43	0.51	1.24	0.22	0.48	0.64	1.30	2.33aA	1.89
收获期	单作	0.13	0.24	1.05	0.17	0.45	0.53	2.08	1.87	2.39
	间作	0.16	0.27	1.05	0.16	0.42	0.56	2.09	2.10	2.92

同一生育期内同列不同大、小写字母分别表示差异极显著(P < 0.01)、显著(P < 0.05)。

2.6 间作对花生微量元素的影响

分析间作花生微量元素的含量(表 6),结果表明:结荚期和成熟期,间作花生根、茎、叶中的钙含量比单作花生提高 1.06%~39.29%;全生育期的间作花生根中镁含量比单作降低 7.69%~15.63%;

间作花生茎中镁含量比单作提高 1.85%~15.00%;花针期,间作花生根、茎、叶中锌含量均比单作的低,且茎、叶中锌含量与单作的锌含量差异显著;结荚期和成熟期,间作花生根、茎、叶中锰含量均高于单作中的锰含量。

表6 间作花生微量元素的含量

Table 6 The content of micro elements of peanut under cassava/peanut intercropping

生育期	处理	钙含量			镁含量			锌含量			锰含量		
		根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶
花针期	单作	0.68	0.86	1.23	0.39	0.54	0.52	1.10	0.74aA	0.75aA	0.57	0.49bA	1.31
	间作	0.60	0.72	1.36	0.36	0.55	0.44	0.81	0.59bA	0.57bA	0.55	0.56aA	1.11
结荚期	单作	0.57	0.87	1.89	0.29	0.40	0.58	0.92	0.66	0.77	0.77	0.65	0.85
	间作	0.58	0.88	1.91	0.25	0.46	0.58	1.05	0.62	0.79	0.82	0.72	1.04
成熟期	单作	0.56	0.84	1.10	0.32	0.42	0.48	0.84	0.71	0.64	0.86	0.75	0.68
	间作	0.78	1.05	1.31	0.27	0.48	0.51	1.00	0.73	0.65	0.98	0.77	0.76

同一生育期内同列不同大、小写字母分别表示差异极显著(P < 0.01)、显著(P < 0.05)。

2.7 间作对木薯微量元素的影响

分析间作木薯微量元素的含量(表7),结果表明:全生育期,间作木薯叶中的钙含量比单作木薯的降低 2.63%~11.49%;共生期内,间作木薯根中钙、镁、锌、锰含量比单作的分别提高 18.62%~42.86%、

7.84%~44.44%、12.50%~39.84%、24.00%~58.33%;茎中的钙、镁、锌、锰的含量分别在块根膨大初期、块根形成期和苗期显著提高,说明间作对木薯根、茎中的钙、镁、锌和锰含量在不同生育期具有“生物强化”作用。

表7 间作木薯微量元素的含量

生育期	处理	钙含量			镁含量			锌含量			锰含量		
		根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶
苗期	单作	1.45	2.95	1.74	0.51	0.43	0.34	1.23	0.52	0.48	1.89	0.56bA	0.79
	间作	1.72	3.13	1.54	0.55	0.48	0.35	1.72	0.53	0.45	2.58	0.81aA	1.11
块根形成期	单作	0.21	1.81	1.60	0.09	0.51	0.38	0.24	0.49bA	0.56	0.25	0.43	0.63
	间作	0.30	1.74	1.44	0.13	0.40	0.36	0.28	0.55aA	0.64	0.31	0.52	0.79
块根膨大初期	单作	0.16	0.99bB	1.91	0.11	0.40bB	0.41	0.16	0.39bA	0.62	0.12	0.42	0.80
	间作	0.20	1.70aA	1.74	0.12	0.52aA	0.40	0.18	0.53aA	0.66	0.19	0.60	0.77
收获期	单作	0.22	1.10	1.52	0.08	0.30	0.31	0.18	0.82	0.97	0.20	3.01	4.72
	间作	0.23	1.15	1.48	0.08	0.31	0.29	0.21	0.85	1.04	0.23	2.91	4.94

同一生育期内同列不同大、小写字母分别表示差异极显著($P < 0.01$)、显著($P < 0.05$)。

3 结论与讨论

本研究中,木薯块根形成期,间作木薯氮、磷、钾含量低于单作木薯,其株高、茎径和生物量的增长明显受抑,说明共生期内的间作木薯与花生均表现出较强的生长竞争;块根膨大期,间作木薯表现出较强的吸收氮、磷、钾养分能力,快速生长,而花生的营养生长逐渐衰退,养分吸收的能力逐渐减弱,以致收获期的间作木薯株高、茎径及鲜薯产量接近于单作木薯,说明间作木薯与花生共生期内竞争比较激烈;在花生收获期,木薯开始恢复生长,存在“竞争-恢复”现象,这与刘子凡等^[1]的研究结果相似。张福锁等^[11]提出“间作优势的竞争-恢复生产原理”,即间作的劣势种在优势种成熟收获后开始发挥优势,经过恢复-快速生长而获得高产。本研究中,间作木薯是共生期内的劣势种,花生收获后,间作木薯“恢复-快速生长”,最终其株高、茎径、鲜薯和淀粉产量均接近于单作木薯。说明木薯花生间作模式确实存在“竞争-恢复”现象。

合理施氮可降低间作共生期内的种间竞争,当收获前季作物后,有利于后季作物的养分吸收和生物量恢复^[12-14]。为保证共生期内 2 种作物的正常生长,并促进花生收获后间作木薯“恢复-快速生长”,应加强木薯与花生共生期间及收获花生后氮、磷、钾肥的管理。

本研究中,共生期的间作木薯根中钙、镁、锌、锰含量比单作均有所提高,茎中 4 种微量元素在不同的生育期也显著提高,说明间作对木薯根和茎中的钙、镁、锌和锰含量在不同生育期具有“生物强化”作用。

参考文献:

[1] 刘子凡,黄洁,魏云霞,等.不同木薯/花生模式下的产量表现及其经济产出研究[J].热带作物学报,2016,

37(1): 65-69.

- [2] MASON S C, LEIHNER D E, VORST J J. Cassava-cowpea and cassava-peanut intercropping III. Nutrient concentrations and removal[J]. Agronomy Journal, 1986, 78(3): 441-444.
- [3] 韩全辉.木薯/花生不同间作模式的效应比较[D].海口:海南大学,2014.
- [4] 胡飞龙,高倩圆,焦加国,等.不同间作模式下木薯花生光合效率比较[J].土壤,2012,44(2): 332-337.
- [5] 熊军,闫海锋,韦绍丽,等.木薯+花生间作对作物光合特性、农艺性状和产量的影响[J].江苏农业科学,2016,44(6): 165-168.
- [6] 唐秀梅,钟瑞春,蒋菁,等.木薯/花生间作对根际土壤微生物生态的影响[J].基因组学与应用生物学,2015,34(1): 117-124.
- [7] 徐海强,黄洁,刘子凡,等.木薯/花生间作对其根际土壤微生物数量、群落结构及多样性的影响[J].南方农业学报,2016,47(2): 185-190.
- [8] 黄欠如,孙永明,熊春贵,等.丘陵红壤旱地花生套作木薯产量效益分析[J].江西农业学报,2009,21(7): 43-45.
- [9] GB/T 5009.9-2008 食品中淀粉的测定[S].
- [10] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [11] 张福锁,申建波,冯固,等.根际生态学[M].北京:中国农业大学出版社,2009: 333-334.
- [12] 刘屹湘.小麦/玉米间作体系竞争-恢复过程的根系互作机制[D].北京:中国农业大学,2015.
- [13] 余常兵,孙建好,李隆.种间相互作用对作物生长及养分吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(1): 1-8.
- [14] LI Q Z, SUN J H, WEI X J, et al. Overyielding and interspecific interactions mediated by nitrogen fertilization in strip intercropping of maize with faba bean, wheat and barley[J]. Plant and Soil, 2011, 339(1/2): 147-161.

责任编辑:毛友纯
英文编辑:柳正