



劳承英, 黄渝岚, 李艳英, 等. 粉垄耕作深度和间作大豆对木薯产量及效益的影响[J]. 江西农业大学学报, 2023, 45(1): 28–36.

LAO C Y, HUANG Y L, LI Y Y, et al. Effects of fen-long plowing depth and intercropping of soybean on cassava yield and benefit[J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2023, 45(1): 28–36.

粉垄耕作深度和间作大豆对木薯产量及效益的影响

劳承英, 黄渝岚, 李艳英, 周灵芝, 周佳, 韦本辉, 申章佑*

(广西农业科学院 经济作物研究所, 广西 南宁 530007)

摘要:【目的】分析不同粉垄耕作深度和间作大豆对木薯产量及效益的影响, 为提高木薯种植经济效益和提高现有耕地利用率提供理论和实践依据。【方法】以华南 205 木薯和桂春 15 号大豆为试验材料。在不同粉垄耕作深度处理下, 木薯 || 大豆按 50 cm 的间作行距进行种植, 动态测量木薯的农艺性状, 称量木薯和大豆产量, 并分析粉垄耕作深度和间作对木薯产量及效益的影响。【结果】(1) 粉垄耕作深度能显著影响木薯生长前期的株高、茎径, 粉垄深度越深其株高越高、茎径越大, 但对木薯生长中后期的株高、茎径影响并不显著; 在相同粉垄耕作深度下, 间作木薯株高、茎径均低于单作木薯, 但差异不显著。(2) 间作条件下, 粉垄耕作深度与株高、单株薯重、单位面积产量呈极显著正相关, 与单株结薯数呈显著正相关; 在相同粉垄耕作深度下, 间作木薯产量均低于单作木薯产量, 降幅为 3.16%~7.19%; 其中 CF_{30} 、 CSF_{30} 鲜薯产量分别为 42 104.4 kg/hm²、39 862.2 kg/hm², 分别显著高于 C_{10} 、 CS_{10} 处理, 增幅分别为 7.50%、9.88%; 木薯鲜薯单位面积产量从高到低依次为 CF_{30} 、 CF_{40} 、 CF_{20} 、 CSF_{30} 、 CSF_{40} 、 C_{10} 、 CSF_{20} 、 CS_{10} 。(3) 木薯 || 大豆间作群体的总产值均显著高于木薯单作的产值, 其中 CSF_{30} 产值最高, 为 36 254.3 元/hm², 显著高于其他所有处理, 增幅为 9.32%~32.23%; 单位面积总产值从高到低依次为 CSF_{30} 、 CSF_{40} 、 CSF_{20} 、 CS_{10} 、 CF_{30} 、 CF_{40} 、 CF_{20} 、 C_{10} ; 间作群体总 LER 均大于 1, 为 1.39~1.43, 其中最高的是 CSF_{30} , 为 1.43。【结论】 CSF_{30} 处理群体总产值、LER 值最大, 可提高土地复种指数和土地利用效率, 增加木薯种植效益。

关键词: 粉垄耕作; 木薯; 大豆; 间作; 效益

中图分类号: S344

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1000-2286(2023)01-0028-09



Effects of Fen-Long Plowing Depth and Intercropping of Soybean on Cassava Yield and Benefit

LAO Chengying, HUANG Yulan, LI Yanying, ZHOU Lingzhi,
ZHOU Jia, WEI Benhui, SHEN Zhangyou*

(Cash Crops Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China)

Abstract: [Objective] The present study analyzed the effect of different Fen-Long plowing depths and in-

收稿日期: 2022-10-10 修回日期: 2022-11-11

基金项目: 广西自然科学基金项目(2020GXNSFBA297039)和国家自然科学基金项目(31860347)

Project supported by the National Natural Science Foundation of Guangxi (2020GXNSFBA297039) and the National Natural Science Foundation of China (31860347)

作者简介: 劳承英, 助理研究员, orcid.org/0000-0001-5173-3405, cylao@foxmail.com; *通信作者: 申章佑, 副研究员, 主要从事薯类作物育种与栽培, orcid.org/0000-0001-9069-1172, shzhyou@126.com。

tercropping of soybean on cassava yield and benefit, Thus providing theoretical and practical basis for improving the economic benefit of cassava planting and the utilization rate of the cultivated land. [Method] Huanan 205 cassava and Guichun 15 soybean were used as experimental materials. Cassava and soybeans were planted at 50 cm of intercropping row spacing at different Fen-Long plowing depths. The agronomic traits of cassava were measured dynamically, the cassava and soybean yields were weighed, to analyze the effect of Fen-Long plowing depth and intercropping on cassava yield and benefit. [Result] (1) Fen-Long plowing depths could significantly affect the plant height and stem diameter of cassava in the early growth stage, The deeper Fen-Long plowing depths, the higher plant height and the larger stem diameter. The effect of Fen-Long plowing depths on plant height and stem diameter of cassava was not significant in the middle and late growth stage. The plant height and stem diameter of intercropped cassava were lower than those of monoculture cassava under the same Fen-Long plowing depths, although there was no significant difference. (2) Under the intercropping condition, Fen-Long plowing depth was in a extremely significant positive correlation with plant height, weight of tubers per plant and yield per unit area, and it was in a significantly positive correlation with number of tubers per plant. The cassava yield of intercropping was lower than that of monoculture at the same depth of Fen-Long plowing, with a decrease of 3.16%–7.19%. The yield of CF₃₀ and CSF₃₀ were 42 104.4 kg/hm² and 39 862.2 kg/hm², respectively, which were significantly higher than those of C₁₀ and CS₁₀, with an increase of 7.50% and 9.88%, respectively. The yield per area of cassava from the highest to the lowest was as follows: CF₃₀>CF₄₀>CF₂₀>CSF₃₀>CSF₄₀>C₁₀>CSF₂₀>CS₁₀. (3) The total output value of cassava and soybean intercropping population was significantly higher than that of cassava monoculture and soybean monoculture. Among them, CSF₃₀ had the highest output value (36 254.3 yuan/hm²), which was significantly higher than that of all other treatments, with an increase of 9.32%–32.23%. The gross output of unit area from the highest to the lowest was as follows: CSF₃₀>CSF₄₀>CSF₂₀>CS₁₀>CF₃₀>CF₄₀>CF₂₀>C₁₀. The total LER of the intercropping population was higher than 1 (1.39–1.43), and the highest was CSF₃₀ (1.43). [Conclusion] The CSF₃₀ treatment had the largest population gross output value and LER value, which could improve land multiple cropping index and land use efficiency, and increase cassava planting benefits.

Keywords: Fen-Long plowing; cassava; soybean; intercropping; benefit

【研究意义】木薯(*Manihot esculenta* Crantz)属大戟科木薯属,是世界三大薯类作物之一,有“地下粮仓”和“淀粉之王”等称誉^[1],可以食用、饲用和作为工业原料等多用途经济作物^[2]。全球有近 100 个国家种植木薯,非洲地区有相当一部分人将木薯作为主食,在中国,木薯主要分布在广西、广东、海南、云南等地^[3]。广西是木薯种植的主产区,年种植面积为 30 万~40 万 hm²,占全国木薯种植面积的 60%^[4],但由于木薯种植的产值低、效益差,种植面积有连年减少的趋势。为提高木薯种植的产量和效益,课题组先从耕作方式进行探究,粉垄耕作技术是本团队发明的土壤耕作技术,粉垄耕作通过加深土壤耕作层、均匀粉碎土壤,可使土壤疏松透气,从而促进作物根系发达、植株健壮、产量增加^[5]。前人^[6-9]研究发现,粉垄可以促进水稻、玉米、小麦等多种作物产量的增加,对块根块茎类作物具有显著增产效果^[10-12]。除此之外,间套种也是提高木薯种植产值和效益的有效方式^[13]。木薯与大豆间作可以通过提高单位面积的光能和养分利用效率,从而促进单位面积的生产效率和经济效益的提高,是一种高产高效的种植模式^[14]。因此,分析粉垄耕作和间作大豆对木薯农艺性状、产量和效益的影响,可为提高木薯种植经济效益和提高现有耕地利用率提供应用依据,并对促进木薯产业健康发展具有重要意义。【前人研究进展】在粉垄耕作条件下,减施 30% 左右的肥料可以显著降低木薯鲜薯块根中氢氰酸含量,但对鲜薯淀粉、干物质含量以及产量无显著影响^[15]。粉垄耕作后种植の木薯与传统耕作相比,单株结薯数增加 30.00%,薯长增加 25.35%,薯径增加 28.70%,单株薯重增加 44.92%,产量增加 46.69%^[16]。间作系统内作物的根系形态、分布及其生理性状影响作物对营养、水分等资源的高效利用^[17-18],间作比单作具有产量优势^[19],与单作木薯相比,间作木薯在氮磷钾养分利用效率、产量和效益上均有显著提高^[20]。木薯 || 大豆间作模式下,通过提高作物

群体的光能利用率,促进作物地上部和地下部干物质的积累,改善大豆农艺性状,增加大豆的根瘤数量及质量,不同间距处理对木薯的株高和单株产量有显著影响,但对其他农艺性状无显著影响^[21],木薯大豆间作可促进木薯鲜薯产量提高28.3%^[22]。木薯||玉米间作模式下,宽窄行间作可促进鲜薯增产,等行距间作则促进糯玉米增产,间作的总产值高于单作,最高达单作的2.3倍^[23]。木薯||花生间作模式下,花生的株高、单株果数及果仁蛋白质含量均有提高^[24-25];花生的产量和单株产量也显著增加^[26]。【本研究切入点】目前,关于粉垄耕作应用于作物的研究大多集中在作物单作方面,但粉垄耕作对作物间套种植模式影响的研究未见报道。【拟解决的关键问题】研究粉垄耕作深度和间作大豆对木薯农艺性状、产量和效益的影响,为木薯||大豆间作种植所需的最佳粉垄耕作深度提供应用依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于广西南宁市隆安县那桐镇(22°58'11"N,107°52'22"E),前茬作物为木薯,土壤基础养分为速效氮111.31 mg/kg,速效磷24.73 mg/kg,速效钾123.15 mg/kg,有机质23.09 g/kg,pH值5.35。

1.2 试验材料

木薯选用当地主栽品种华南205;大豆为耐遮阴春大豆桂春15号,粉垄耕作机械使用广西五丰机械公司生产的LG-125型自走式粉垄机。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 设置20,30,40 cm 3个粉垄耕作深度,以及一个传统耕作处理,木薯行距100 cm,株距100 cm,木薯行间种植1行大豆,木薯||大豆行距50 cm,单作木薯株行距100 cm×100 cm,单作大豆株行距20 cm×40 cm(单作大豆各小区仅作为计算大豆偏土地当量比时使用,本文中不作为实验处理进行统计分析);共8个处理,每个小区长10 m、宽3 m,面积30 m²,3次重复,随机区组设计。

粉垄耕作深度20,30,40 cm条件下,单作木薯分别标记为CF₂₀、CF₃₀、CF₄₀,木薯||大豆间作标记为CSF₂₀、CSF₃₀、CSF₄₀,传统耕作单作木薯、木薯||大豆间作分别标记为C₁₀、CS₁₀。

1.3.2 种植管理 2021年3月4日,传统耕作处理以拖拉机旋耕耙地2次;3月9日,使用粉垄机械一次性完成全田土壤粉碎并形成平整垄面,粉垄深度分别为20,30,40 cm;3月11日播种木薯和大豆,木薯种茎长度约15 cm,种植时各处理均按750.0 kg/hm²等量施用15:15:15复合肥作为基肥;3月15日全田喷施芽前除草剂;5月1日对大豆追施尿素150.0 kg/hm²;6月1日对木薯进行间苗,每穴留2株健壮苗,去除其余病弱苗,其他栽培管理同大田生产;7月2日收获大豆;12月14日收获木薯。

1.3.3 测定项目及方法 (1)农艺及产量性状。从6月10日开始,每月10日调查木薯株高和茎径。株高为地面至生长点顶端的高度,用卷尺测量;茎径为距离地面10.0~15.0 cm位置茎秆的直径,用游标卡尺测量。木薯收获时,每个小区连续取10株调查木薯薯长、薯茎、单株结薯数、单株薯重,用卷尺测量薯块的长度,用游标卡尺测量薯块的直径,点数单株结薯数,用普通电子秤称量单株薯块鲜重,计算平均数。分别在两种作物成熟期,收取全小区木薯鲜薯和大豆籽粒,称量小区木薯鲜薯质量,及晒干后的大豆籽粒质量,折算单位面积产量,并以当年农产品收购价计算单位面积产值。

(2)群体产量和土地当量比。群体产量=木薯产量+大豆产量,即同一地块木薯、大豆的产量之和。土地当量比(land equivalent ratio, LER)是衡量产量优势的指标。 $LER = LER_c + LER_s = (Y_{c_i}/Y_c) + (Y_{s_i}/Y_s)$ ^[27]。式中:LER_c、LER_s分别表示木薯和大豆偏土地当量比,Y_c和Y_s分别为单作木薯和单作大豆的产量,Y_{c_i}和Y_{s_i}分别代表间作总面积上木薯、大豆的产量。LER>1表明间作有优势;LER<1为间作劣势^[28]。

1.4 数据分析

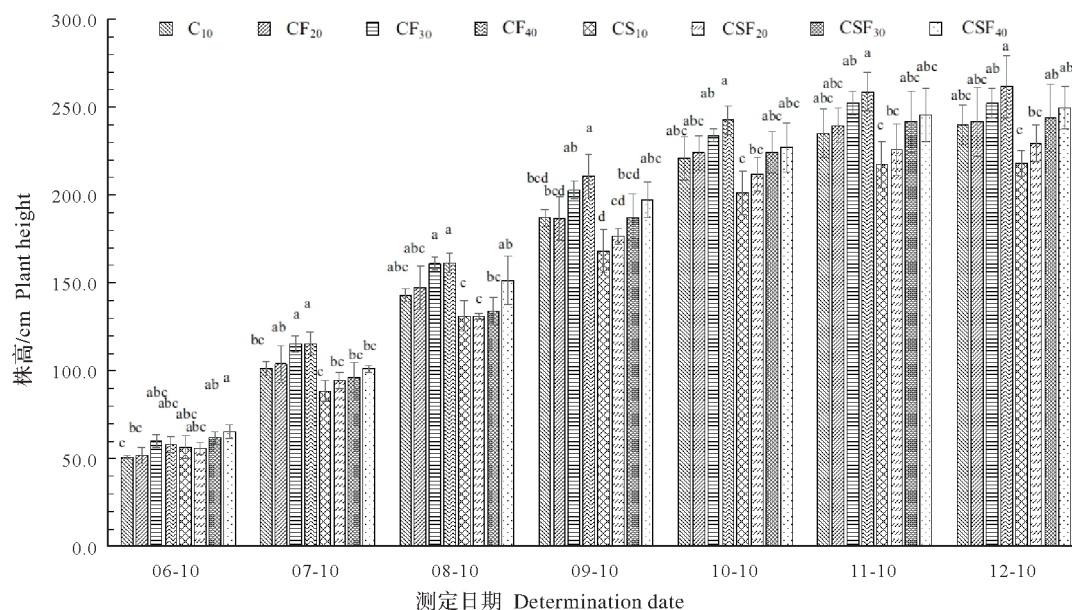
采用Excel 2010和SAS9.0软件对试验数据进行统计学分析。

2 结果与分析

2.1 粉垄耕作深度和间作对木薯株高和茎径的影响

从图1可以看出,单作和间作木薯株高均随粉垄深度的增加呈递增规律;而在相同的粉垄深度下,单作木薯株高均高于间作。就单作木薯各处理而言,7月10日,CF₃₀、CF₄₀显著高于传统耕作处理C₁₀;9月10日,

CF₄₀显著高于传统耕作处理C₁₀,其余时期,单作木薯各处理间株高均不存在显著差异。就间作木薯各处理来说,8月10日,CSF₄₀显著高于CSF₂₀、CS₁₀,9月10日,CSF₄₀显著高于传统耕作处理CS₁₀,12月10日,CSF₃₀、CSF₄₀显著高于传统耕作处理CS₁₀,其余时期,间作木薯各处理间不存在显著性差异。在整个生育期,单作木薯CF₃₀和CF₄₀间,以及间作木薯CF₃₀和CF₄₀间均不存在显著差异。

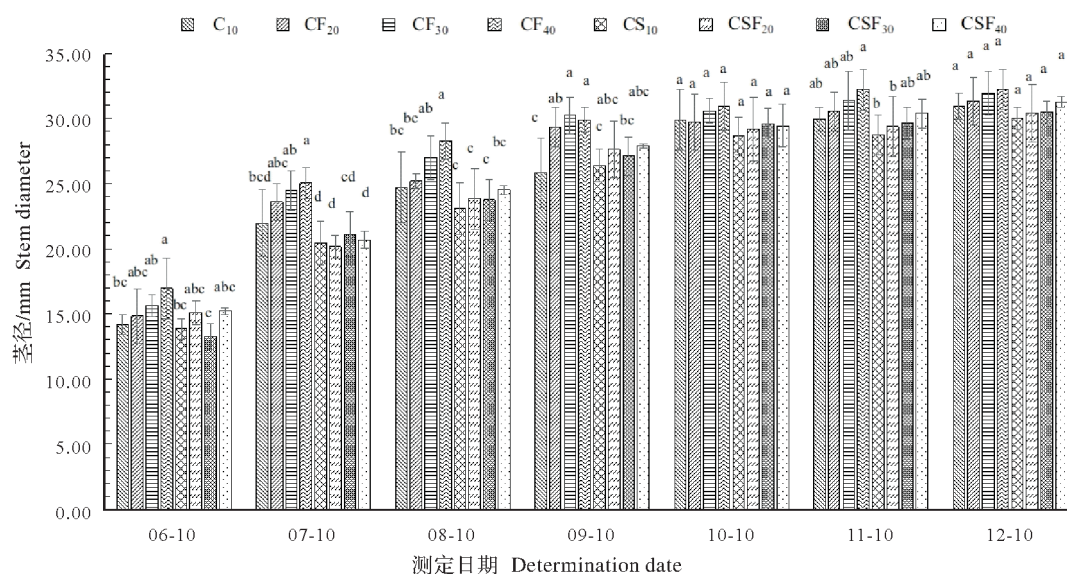


同一测定日期不同处理图柱上不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Different lowercase letters on the chart bar represented significant difference in different treatments of the same determination date ($P<0.05$).

图1 不同粉垄耕作深度和间作处理木薯株高的比较

Fig.1 Comparison of cassava plant height with different depth of Fen-Long plowing and intercropping



同一测定日期不同处理图柱上不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Different lowercase letters on the chart bar represented significant difference in different treatments of the same determination date ($P<0.05$).

图2 不同粉垄耕作深度和间作处理木薯茎径的比较

Fig.2 Comparison of cassava stem diameter with different depth of Fen-Long plowing and intercropping

从图2可以看出,木薯茎径生长规律与株高相似,单作和间作木薯茎径整体上随着粉垄深度的增加呈递增规律;在相同的粉垄深度下,单作木薯茎径均高于间作。就单作木薯各处理而言,在9月10日及

之前的4次测量结果显示,CF₄₀与传统耕作C₁₀的木薯茎径均存在显著性差异,10月10日及之后的3次测量,各单作木薯茎径间均不存在显著性差异。就间作木薯各处理来说,整个生育期各处理间木薯茎径均不存在显著性差异。7月10日、8月10日,CF₄₀处理木薯茎径均显著大于间作各处理的木薯茎径。10月10日、12月10日,单作木薯和间作木薯各处理间木薯茎径均不存在显著性差异。

可见,在木薯生长前期其株高和茎径受粉垄耕作深度影响较明显,粉垄深度越深其株高越高、茎径越大,但在木薯生长中后期其株高、茎径均差异不显著。在木薯整个生育期其株高受间作影响均较显著,在同等粉垄深度下,间作木薯株高低于单作木薯。间作对木薯茎径的影响主要表现在前期的差异,后期差异不显著。

2.2 粉垄深度和间作对木薯产量构成因子的影响及相关性分析

2.2.1 对木薯产量构成因子和产量的影响 由表1可知,薯长随着耕作深度的增加呈递增趋势。单作木薯条件下,粉垄耕作处理CF₄₀、CF₃₀、CF₂₀分别比传统耕作C₁₀的薯长增长17.34%、8.90%、2.05%,且CF₄₀与CF₂₀、C₁₀间存在显著性差异。间作条件下,各处理间木薯薯长差异不显著。薯茎在各处理间均差异不显著。单株结薯数,在间作或单作群体中均随着耕作深度的增加呈递增趋势,整体而言,CF₄₀与CS₁₀、CSF₂₀、CSF₃₀之间存在显著性差异。单株薯重主要表现为:传统耕作间作木薯的单株薯重显著低于单作种植。单位面积产量表现为:粉垄单作木薯产量高于所有间作木薯产量,粉垄耕作单作处理CF₃₀产量最高,其次为粉垄耕作单作处理CF₄₀、CF₂₀,且粉垄耕作间作处理CSF₃₀和CSF₄₀的产量高于传统耕作单作处理C₁₀;各处理单位面积产量从高到低依次为CF₃₀、CF₄₀、CF₂₀、CSF₃₀、CSF₄₀、C₁₀、CSF₂₀、CS₁₀。其中,在单作条件下,CF₄₀、CF₃₀、CF₂₀分别比传统耕作C₁₀的单位面积产量分别增加3.09%、7.50%、2.62%,且CF₃₀与C₁₀间差异显著。在间作条件下,CSF₄₀、CSF₃₀、CSF₂₀分别比传统耕作CS₁₀的单位面积产量分别增加7.01%、9.09%、3.32%,且CSF₄₀、CSF₃₀与CS₁₀间差异显著。

可见,粉垄耕作深度越深,鲜薯薯长越长,单株结薯数越多,且相同粉垄耕作深度下,间作会显著影响木薯产量。

表1 不同粉垄耕作深度和间作对木薯产量构成因子的影响

Tab.1 Effects of different depth of Fen-Long plowing and intercropping on cassava yield components

处理 Treatment	薯长/cm Length of tubers	薯茎/mm Diameter of tubers	单株结薯数 Number of tubers per plant	单株薯重/Kg Weight of tubers per plant	单位面积产量/ (kg·hm ⁻²) Yield per unit area
C ₁₀	24.39±1.42 ^c	45.09±0.50 ^a	10.93±1.70 ^{ab}	3.78±0.40 ^{abc}	39 168.5±1 220.0 ^{bc}
CF ₂₀	24.89±1.93 ^{bc}	47.17±1.48 ^a	10.47±1.80 ^{abcd}	4.08±0.38 ^{ab}	40 194.5±1 568.6 ^b
CF ₃₀	26.56±1.13 ^{abc}	47.81±2.76 ^a	10.27±0.42 ^{abcd}	4.38±0.16 ^a	42 104.4±189.4 ^a
CF ₄₀	28.62±0.92 ^a	46.18±2.14 ^a	11.87±0.81 ^a	4.12±0.23 ^{ab}	40 379.1±548.0 ^{ab}
CS ₁₀	26.23±1.36 ^{abc}	46.00±1.07 ^a	8.40±0.53 ^d	3.13±0.09 ^c	36 540.5±786.8 ^d
CSF ₂₀	26.45±1.50 ^{abc}	45.86±1.30 ^a	8.53±1.55 ^{cd}	3.39±0.17 ^{bc}	37 753.3±1 548.1 ^{cd}
CSF ₃₀	27.28±0.74 ^{ab}	47.45±1.96 ^a	9.27±1.36 ^{bcd}	3.9±0.19 ^{abc}	39 862.2±805.8 ^b
CSF ₄₀	27.34±1.02 ^{ab}	45.44±1.36 ^a	10.8±1.64 ^{abc}	3.77±0.25 ^{abc}	39 101.8±1007.0 ^{bc}

同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Different lowercase letters in the same column represented significant difference ($P<0.05$).

2.2.2 粉垄耕作深度与产量的相关分析 由表2可知,单作条件下,粉垄耕作深度与木薯薯长呈极显著正相关,相关系数为0.798;在间作情况下,粉垄耕作深度与株高、单株薯重、单位面积产量呈极显著正相关,相关系数分别为0.752、0.795、0.703,与单株结薯数呈显著正相关,相关系数为0.610,与木薯薯茎呈负相关,相关系数为-0.007。

可见,单作条件下,粉垄耕作深度增加有利于木薯薯长的生长;间作条件下,粉垄耕作深度有利于木薯株高、单株薯重、单株结薯数、单位面积产量的增加。

表 2 粉垄耕作深度与木薯农艺性状和产量的相关性分析结果

Tab.2 Correlation between depth of Fen-Long plowing and agronomic traits and yield of cassava

指标 Index	株高/cm Plant height	茎径/mm Stem diameter	薯长/cm Length of tubers	薯茎/mm Diameter of tubers	单株结薯数 Number of tubers per plant	单株薯重/kg Weight of tubers per plant	单位面积产量/ (kg·hm ⁻²) Yield per unit area
单作条件下的粉垄深度	0.563	0.379	0.798**	0.234	0.234	0.452	0.458
间作条件下的粉垄深度	0.752**	0.374	0.426	-0.007	0.610*	0.795**	0.703**

*表示显著相关($P<0.05$),**表示极显著相关($P<0.01$)。
* represented significant correlation($P<0.05$),** represented extremely significant correlation($P<0.01$).

2.3 群体产量和产出效益比较

由表 3 可知,从单作和间作群体总产量角度分析,粉垄耕作单作木薯产量均高于间作木薯。相同粉垄耕作深度下,间作木薯产量均低于单作木薯产量,降幅为 3.16%~7.19%,且除 CSF₄₀与 CF₄₀差异不显著外,其他相同粉垄耕作深度下间作木薯产量均显著低于单作木薯产量。群体总产量表现为:相同粉垄耕作深度下,间作群体总产量均低于单作木薯产量,但二者之间差异不显著;粉垄耕作深度 30 cm 的 CF₃₀、CSF₃₀ 群体总产量高于粉垄耕作深度 40 cm 的 CF₄₀、CSF₄₀ 和 20 cm 的 CF₂₀、CSF₂₀,粉垄耕作深度 20 cm 的 CSF₂₀ 间作群体总产量不及传统耕作单作处理 C₁₀,传统耕作间作处理 CS₁₀ 总产量最低;各处理总产量从高到低依次为 CF₃₀、CSF₃₀、CF₄₀、CSF₄₀、CF₂₀、C₁₀、CSF₂₀、CS₁₀。其中,CF₃₀ 最高为 42 104.4 kg/hm²、显著高于 C₁₀、CF₂₀、CS₁₀ 和 CSF₂₀,增幅为依次为 7.50%、4.75%、12.15% 和 8.30%,其次是 CSF₃₀ 为 41 254.0 kg/hm²,显著高于 C₁₀ 和 CS₁₀,增幅为 5.32% 和 9.88%。

从土地产值角度分析,木薯 || 大豆间作群体的总产值显著高于木薯单作的产值,各处理单位面积总产值表现为:间作处理总产值高于单作处理,同时粉垄耕作高于传统耕作;各处理总产值从高到低依次为 CSF₃₀、CSF₄₀、CSF₂₀、CS₁₀、CF₃₀、CF₄₀、CF₂₀、C₁₀。其中 CSF₃₀ 总产值最高,为 36 254.3 元/hm²,其次是 CSF₄₀ 为 34 674.7 元/hm²。在相同耕作条件下,木薯 || 大豆间作总产值比单作木薯增幅 15.23%~23.01%。相比传统耕作,粉垄耕作 3 个处理,即 CSF₂₀、CSF₃₀、CSF₄₀ 比传统耕作 CS₁₀ 分别增产 4.97%、14.75%、9.75%。表明木薯 || 大豆间作体系内增加的大豆产量可以提高土地的产出值。

表 3 各处理群体产量和产出效果定量分析

Tab.3 Quantitative analysis of yield and output benefits of cassava-soybean intercropping population with different treatments

处理 Treatment	产量/(kg·hm ⁻²) Yield			产值/(元·hm ⁻²) Output value			土地当量比 LER		
	木薯 Cassava	大豆 Soybean	总计 Total	木薯 Cassava	大豆 Soybean	总计 Total	木薯 Cassava	大豆 Soybean	总计 Total
C ₁₀	39 168.5±1 220.0 ^{bc}		39 168.5±1 220 ^{cd}	27 417.9±854.1 ^{bc}		27 417.9±854.1 ^f	1		1
CF ₂₀	40 194.5±1 568.6 ^b		40 194.5±1 568.6 ^{bc}	28 136.2±1 098.1 ^b		28 136.2±1 098.1 ^{ef}	1		1
CF ₃₀	42 104.4±189.4 ^a		42 104.4±189.37 ^a	29 473.1±132.6 ^a		29 473.1±132.6 ^e	1		1
CF ₄₀	40 379.1±548.0 ^{ab}		40 379.1±548.03 ^{abc}	28 265.3±383.6 ^{ab}		28 265.3±383.6 ^{ef}	1		1
CS ₁₀	36 540.5±786.8 ^d	1 002.8±47.4 ^c	37 543.3±739.37 ^d	25 578.3±550.7 ^d	6 016.5±284.5 ^c	31 594.8±729.6 ^d	0.93	0.46	1.39
CSF ₂₀	37 753.3±1 548.1 ^{cd}	1 122.8±53.6 ^b	38 876.1±1 519.7 ^{cd}	26 427.3±1 083.7 ^{cd}	6 736.8±1 098.1 ^b	33 164.1±1 389.2 ^c	0.94	0.45	1.39
CSF ₃₀	39 862.2±805.8 ^b	1 391.8±62.7 ^a	41 254.0±837.93 ^{ab}	27 903.5±564.1 ^b	8 350.8±132.6 ^a	36 254.3±815.6 ^a	0.95	0.48	1.43
CSF ₄₀	39 101.8±1 007.0 ^{bc}	1 217.3±72.2 ^b	40 319.1±1 142 ^{abc}	27 371.2±753.9 ^{bc}	7 303.5±383.6 ^b	34 674.7±831.4 ^b	0.97	0.43	1.40

表中木薯和大豆的产值分别按当年当地地头收购价 700 元/t、6 元/kg 计。

The output value of cassava and soybean in the table is calculated according to the local land purchase price of 700 yuan/ton and 6 yuan/kg respectively.

从土地当量比角度分析,虽然间作群体中木薯、大豆产量均降低,但是间作群体总LER均大于1,为1.39~1.43,表明木薯||大豆间作种植均可提高土地复种指数和土地利用效率。总LER最高的是CSF₃₀,为1.43,表明在粉垄耕作30厘米间作大豆的土地利用效率最好。

3 讨论与结论

3.1 粉垄耕作对木薯农艺性状和产量的影响

粉垄耕作作为一种新型的耕作方式,通过改善土壤生态环境,达到促进作物根系及植株的生长发育,提高作物产量,保障作物稳产、高产的目的。本研究中,单作或间作木薯的株高、茎径均随粉垄深度的增加而增加,且粉垄耕作深度越深,鲜薯薯长越长,单株结薯数越多,该结果与韦本辉等^[11]研究粉垄栽培可促进木薯薯长增长的结果一致。木薯单株薯重受薯长、薯茎、单株结薯数的影响,并最终影响木薯单位面积产量^[29]。但随着粉垄深度的增加,鲜薯产量呈现先增加后降低的趋势,本研究中,间作处理下CSF₂₀、CSF₃₀、CSF₄₀比传统耕作CS₁₀分别增产4.97%、14.75%、9.75%,表明并不是粉垄耕作深度越深越好,结合株高和茎径表现,当粉垄深度达到40 cm时,木薯株高和茎径均显著增加,由于营养生长过于旺盛,可能引起木薯生殖生长的失衡,从而降低了木薯鲜薯产量。结合相关性分析,单作条件下,粉垄耕作深度只与木薯薯长呈极显著正相关,而在间作情况下,粉垄耕作深度与株高、单株薯重、单位面积产量呈极显著正相关,与单株结薯数呈显著正相关,表明在间作条件下粉垄耕作更有利于木薯的生长发育,促进单位面积产量的增加。

根据实际生产需求,粉垄耕作深度30 cm相比粉垄耕作深度40 cm不仅能耗减少,而且鲜薯产量也获得最佳值,是木薯粉垄种植的最佳耕作深度。

3.2 间作对木薯农艺性状和产量

在木薯||大豆间作的共同生育期内,木薯植株易与大豆发生争光争肥的现象,特别是在肥料供应不足的情况下,大豆的争肥现象会减少木薯对肥料养分的吸收,进而影响木薯的生长,降低产量^[30]。本研究中,间作对木薯茎径的影响主要表现在前期的差异,后期差异不显著,这可能与大豆收获后木薯生长空间得以扩大有关,在相同粉垄耕作条件下,单作木薯的株高、茎径、单株结薯数、单株薯重、产量均高于间作木薯。高蕊^[31]通过研究木薯宽窄行间作大豆对作物产量的影响发现,优化木薯宽窄行比例和大豆的种植密度可以有效促进间作群体的生长发育,提高群体总产量。综上,为降低间作共生期大豆对木薯生长的影响,可以在木薯生长前期对木薯追肥,为木薯生长提供充足营养,从而促进木薯的生长,并通过设置木薯宽窄行种植模式提高间作木薯产量,向单作木薯含量靠近。

3.3 木薯||大豆间作的产出效益

间作群体内间作作物的产量会低于各自在单作条件下的产量,但间作群体的总产量高于单作^[32],本研究中木薯||大豆间作群体木薯产量较单作木薯减产3.16%~7.19%,但间作群体总产量比单作增加15.23%~23.01%,这与前人的研究结果表现一致。该结果说明间作对木薯产量有一定影响,但总LER为1.39~1.43,即单作需要增加39%~43%土地面积才能达到与间作同等的产量产出;且间作群体中木薯+大豆的产值显著高于单作作物产值,表明木薯||大豆间作体系内增加的大豆产量可以显著提高土地利用率和土地产值,表现出了明显的生态效益和经济效益,与汤复跃等^[33]研究结果一致。

综上,粉垄耕作深度30 cm是木薯||大豆间作的最佳粉垄耕作深度,可以实现间作群体总产值达最佳状态。木薯||大豆间作可以增收一季春大豆,实现一年两收的木薯种植模式,不仅可以增加木薯种植效益,还可以缓解大豆种植低迷导致大豆供应不足的严峻形势。

参考文献 References:

- [1] 李开绵,林雄,黄洁. 国内外木薯科研发展概况[J]. 热带农业科学, 2001, 89(1): 56-60.
LI K M, LI X, HUANG J. Current situation of cassava research and development at home and abroad[J]. Chinese journal of tropical agriculture, 2001, 89(1): 56-60.
- [2] 濮文辉. 世界木薯业发展与研究[J]. 世界热带农业信息, 2007(10): 1-5.
PU W H. Development and research of cassava industry in the world[J]. World tropical agriculture information, 2007(10): 1-5.

- [3] 李月仙,段春芳,姜太玲,等.不同海拔梯度变化对云南木薯生长及块根品质的影响[J].作物杂志,2022(5):153-159.
LI Y X, DUAN C F, JIANG T L, et al. The influences of different altitudes gradient change on cassava growth and rhizome quality of cassava in Yunnan Province[J]. Crops, 2022(5): 153-159.
- [4] 罗兴录,潘晓璐,朱艳梅.木薯内源ABA含量与块根淀粉积累关系研究[J].热带作物学报,2018,39(3):472-479.
LUO X L, PAN X L, ZHU Y M. The relationship between endogenous abscisic acid content and starch accumulation in root tuber of cassava[J]. Chinese journal of tropical crops, 2018, 39(3): 472-479.
- [5] 韦本辉.旱地作物粉垄栽培技术研究简报[J].中国农业科学,2010,43(20):4330.
WEI B H. Research on smash-ridging cultivation techniques of dryland crops[J]. Scientia agricultura Sinica, 2010, 43(20): 4330.
- [6] WEI B H, GAN X Q, LI Y Y, et al. Effects of once fenlong cultivation on soil properties and rice yield and quality for 7 consecutive years[J]. Agricultural science & technology, 2017, 18(12): 2365-2371.
- [7] ZHAI L C, XU P, ZHANG Z B, et al. Effects of deep vertical rotary tillage on dry matter accumulation and grain yield of summer maize in the Huang-Huai-Hai Plain of China[J]. Soil & tillage research, 2017, 170: 167-174.
- [8] ZHAI L C, XU P, ZHANG Z B, et al. Improvements in grain yield and nitrogen use efficiency of summer maize by optimizing tillage practice and nitrogen application rate[J]. Agronomy journal, 2019, 11(2): 666-676.
- [9] 杨雪,逢焕成,李铁冰,等.深旋松耕作法对华北缺水区壤质黏潮土物理性状及作物生长的影响[J].中国农业科学,2013,46(16):3401-3412.
YANG X, PANG H C, LI Y B, et al. Effects of deep rotary sub-soiling tillage on the physical properties and crop growth of the sticky loamy soil in North China[J]. Scientia agricultura Sinica, 2013, 46(16): 3401-3412.
- [10] 韦本辉,甘秀芹,陈耀福,等.稻田粉垄冬种马铃薯试验[J].中国马铃薯,2011,25(6):342-344.
WEI B H, GAN X Q, CHEN Y F, et al. Planting winter potato in rice field by using smash-ridging technique[J]. Chinese potato journal, 2011, 25(6): 342-344.
- [11] 韦本辉,甘秀芹,申章佑,等.粉垄栽培木薯增产效果及理论探讨[J].中国农学通报,2011,27(21):78-81.
WEI B H, GAN X Q, SHEN Z Y, et al. Production increasing and discussion in theory of smash-ridging cultivate cassava[J]. Chinese agricultural science bulletin, 2011, 27(21): 78-81.
- [12] 申章佑,韦本辉,甘秀芹,等.粉垄技术栽培木薯中后期结薯情况及产量品质分析[J].作物杂志,2012(4):157-160.
SHEN Z Y, WEI B H, GAN X Q, et al. Analysis of fenlong cultivation on tuber situation, yield and quality of cassava in middle and later periods[J]. Crops, 2012(4): 157-160.
- [13] 陈显双.浅谈木薯的间作和套种[J].农业研究与应用,2003(3):36-37.
CHEN X S. Talking about intercropping and relaycropping of cassava[J]. Agricultural research and application, 2003(3): 36-37.
- [14] 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.
YU C B, SUN J H, LI L. Effect of interspecific interaction on crop growth and nutrition accumulation[J]. Plant nutrition and fertilizer science, 2009, 15(1): 1-8.
- [15] 申章佑,李艳英,周佳,等.粉垄耕作下减施肥料对木薯产量品质的影响初探[J].中国土壤与肥料,2022(2):99-105.
SHEN Z Y, LI Y Y, ZHOU J, et al. Effect of fertilizer reduction on cassava yield and quality under Fenlong tillage[J]. Soil and fertilizer sciences in China, 2022(2): 99-105.
- [16] 刘贵文,黄樟华,韦本辉,等.粉垄技术对木薯生长发育和产量的影响[J].南方农业学报,2011,42(8):975-978.
LIU G W, HUANG Z H, WEI B H, et al. Effects of ridge cultivation technique on the growth and yield of cassava[J]. Journal of southern agriculture, 2011, 42(8): 975-978.
- [17] LYNCH J. Root architecture and plant productivity[J]. Plant physiology, 1995, 109(1): 7-13.
- [18] LYNCH J P, BROWN K M. Root strategies for phosphorus acquisition[M]//WHITE P J, HAMMOND J P. The ecophysiology of plant-phosphorus interactions. Netherlands: Springer, 2008: 225-246.
- [19] LI L, SUN J H, ZHANG F S, et al. Root distribution and interactions between intercropped species[J]. Oecologia, 2006, 147(2): 280-290.
- [20] 刘子凡,苏必孟,黄洁,等.木薯花生间作模式养分吸收与利用优势的比较[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2019,45(5):478-484.
LIU Z F, SU B M, HUANG J, et al. Advantage of nutrient absorption and utilization in cassava-peanut intercropping system

- [J].Journal of Hunan agricultural university(natural sciences),2019,45(5):478-484.
- [21] 高蕊,龚颖婷,李沛然,等.木薯//大豆间距对间作作物农艺性状及品质的影响[J].大豆科学,2018,37(1):81-86.
GAO R,GONG Y T,LI P R,et al.Effects of the Cassava and soybean spacing in an intercropping system on the agronomic traits and crop quality[J].Soybean science,2018,37(1):81-86.
- [22] 闫庆祥,魏云霞,黄洁,等.木薯/大豆不同间作模式对木薯光合生理特性、产量的影响研究[J].热带农业科学,2017,37(12):10-15.
YAN Q X,WEI Y X,HUANG J,et al.Effect of different intercropping patterns of cassava/soybean on photosynthesis, physiology and yield of cassava[J].Chinese journal of tropical agriculture,2017,37(12):10-15.
- [23] 赵大伟,郭元友,邓国军,等.木薯间作糯玉米的高产高效模式分析[J].热带农业科学,2017,37(4):1-6.
ZHAO D W,GUO Y Y,DENG G J,et al.Analysis of high yield and efficient intercropping patterns of cassava with waxy corn [J].Chinese journal of tropical agriculture,2017,37(4):1-6.
- [24] 韩全辉,黄洁,刘子凡,等.木薯/花生间作对花生光合性能、产量和品质的影响[J].广东农业科学,2014,41(13):13-16.
HAN Q H,HUANG J,LIU Z F,et al.Effects of cassava-peanut intercropping on photosynthetic characters, yield and quality of peanut[J].Guangdong agricultural sciences,2014,41(13):13-16.
- [25] 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.
XIONG J,YAN H F,WEI S L,et al.Effects of cassava peanut intercropping on photosynthetic characteristics, agronomic traits and yield of crops[J].Jiangsu agricultural sciences,2016,44(6):165-168.
- [26] 曾露苹,周飞,陈玥如,等.木薯和花生间作对Cd吸收及根区速效养分的影响[J].环境科学研究,2018,31(2):303-309.
ZENG L P,ZHOU F,CHEN Y R,et al.Effects of cassava-peanut intercropping on the absorption of cadmium and available nutrient in rhizosphere soil[J].Research of environmental sciences,2018,31(2):303-309.
- [27] 蔡倩,孙占祥,王文斌,等.辽西半干旱区玉米大豆间作对作物产量及水分利用的影响[J].中国农业气象,2022,43(7):551-562.
CAI Q,SUN Z X,WANG W B,et al.Yield and water use of maize/soybean intercropping systems in semi-arid western Liaoning[J].Chinese journal of agrometeorology,2022,43(7):551-562.
- [28] WILLEY R W.Intercropping-Its importance and research needs.Part1: Competition and yield advantages[J].Field crop abstract,1979,32(1):1-10.
- [29] 李艳英,劳承英,周佳,等.不同种茎长度对木薯产量和品质的影响[J].西南农业学报,2021,34(3):514-519.
LI Y Y,LAO C Y,ZHOU J,et al.Effects of different kinds of seed-stem length on cassava production and quality[J].Southwest China journal of agricultural sciences,2021,34(3):514-519.
- [30] 彭坚,黄桂花,程健超.木薯间套种春大豆不同品种筛选试验初报[J].广西农学报,2012,27(6):9-13.
PENG J,HUANG G H,CHEN J C.Report on variety selection experiment of spring cassava-soybean intercropping[J].Journal of Guangxi agriculture,2012,27(6):9-13.
- [31] 高蕊.木薯宽窄行间作大豆体系的研究[D].广州:华南农业大学,2018.
GAO R.Study on wide/marrow intercropping system of cassava and soybean[D].Guangzhou:South China Agricultural University,2018.
- [32] 韦柳佳,黄莉,张雅琼,等.玉米/大豆间作模式及效应分析[J].西南农业学报,2013,26(1):67-72.
WEI L J,HUANG L,ZHANG Y Q,et al.Analysis on intercropped patterns and effect in maize/soybean intercropping system [J].Southwest China journal sciences,2013,26(1):67-72.
- [33] 汤复跃,陈文杰,韦清源,等.不同行比配置和玉米株型对玉米大豆间种产量及效益影响[J].大豆科学,2019,38(5):726-732.
TANG F Y,CHEN W J,WEI Q Y,et al.Effects of row ratio and maize plant type on yield and benefit of maize/soybean intercropping[J].Soybean science,2019,38(5):726-732.