

大别山三薯连作模式技术与效益分析

陈雅亚¹ 柴沙沙¹ 徐军乐¹ 陈青² 杨新笋¹

1 湖北薯芋产业技术研究院有限公司

2 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所

DOI:10.32629/as.v9i3.3757

[摘要] 为破解大别山区耕地紧张与种植效益偏低问题,本研究于2024—2025年在红安县示范区开展“马铃薯-甘薯-甘薯”周年三薯连作技术示范。通过正交试验(L9(34))探究品种、密度、施肥与覆膜方式的影响,确定最优组合为:马铃薯“希森6号”5500株/亩+优化肥+黑膜,甘薯“鄂薯17”4000株/亩+优化肥。该模式实现鲜薯总产 5795 ± 227 kg/亩,产值12716元/亩,显著高于传统模式($P < 0.01$)。针对茬口紧、劳动强度大等制约,创新集成马铃薯联合收获还田、甘薯移栽与收获等全程机械化技术,关键环节效率提升3-5倍,有效保障模式可操作性与推广前景,为大别山区粮增产、农增收提供了科技支撑。

[关键词] 大别山; 三薯连作; 茬口衔接; 全程机械化; 正交试验; 效益分析

中图分类号: S223.93 文献标识码: A

Technical Research and Benefit Analysis of the Potato-Sweet Potato-Sweet Potato Triple Cropping System in Dabie Mountain Area

Yaya Chen¹ Shasha Chai¹ Junle Xu¹ Qing Chen² Xinsun Yang¹

1 Hubei Shuyu Industrial Technology Research Institute Co., Ltd.

2 China Tropical Academy of Agricultural Sciences Institute of Environment and Plant Protection Haikou

[Abstract] To address the issues of arable land scarcity and low planting efficiency in the Dabie Mountain area, this study conducted a demonstration of the "potato-sweet potato-sweet potato" three-crop rotation technology in the Hong'an County Demonstration Zone from 2024 to 2025. Through orthogonal experiments (L9(34)), the effects of variety, planting density, fertilization, and mulching methods were investigated, and the optimal combination was determined as follows: potato "Xisen 6" 5500 plants/acre + optimized fertilizer + black film, sweet potato "Eshu 17" 4000 plants/acre + optimized fertilizer. This model achieved a total fresh potato yield of 5795 ± 227 kg/acre and a value of 12,716 yuan/acre, significantly higher than the traditional model ($P < 0.01$). To overcome constraints such as tight crop rotation and high labor intensity, innovative integrated mechanized technologies were developed, including combined potato harvesting and returning to the field, and sweet potato transplanting and harvesting. The efficiency of key processes was improved by 3-5 times, effectively ensuring the operability and promotion prospects of the model, providing technological support for increasing grain production and agricultural income in the Dabie Mountain area.

[Key words] Dabie Mountains; three-crop rotation; crop rotation; full mechanization; orthogonal experiment; benefit analysis

大别山区耕地资源紧缺、传统种植效益低下,急需探索高效集约种植模式以提升粮食生产能力。薯类作物因其较高经济价值和较完整产业链,成为优化种植结构的可行选择。本研究聚焦“马铃薯-甘薯-甘薯”周年三薯连作模式,旨在通过品种搭配、茬口衔接与机械化作业,克服传统种植土壤退化、效益不高等问题,实现“一年三收”,提高土地产出与农民收入。研究重点在于验证该模式在茬口紧、劳动力需求大等实际约束下的可操作

性,并通过全程机械化配套技术突破生产瓶颈,为类似地区推广提供技术范例与理论依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验地点与环境

地点:湖北省红安县二程镇西林村(核心示范区),另在麻城市夫子河镇设辅助验证点。

时间:2024年3月—2025年11月(连续两年)。

气候: 亚热带季风气候, 年均气温16~17℃, 无霜期约250~280天, 年降水量1200~1400mm。试验地海拔50~100米。

土壤: 红壤和黄棕壤, 基础肥力: 有机质18.5g/kg, 碱解氮105mg/kg, 速效磷(P_2O_5)22mg/kg, 速效钾(K_2O)125mg/kg, pH=5.8。

1.2 试验材料

本研究选用马铃薯品种“费乌瑞它”(早熟鲜食)、“希森6号”(中晚熟兼用)、“中薯5号”(早熟抗病)以及甘薯品种“鄂薯17”(鲜食主栽)、“龙薯9号”(高产兼用)进行试验。全部采用脱毒一级种薯与健康壮苗。肥料包括商品有机肥及尿素、过磷酸钙、硫酸钾与专用复合肥等化肥; 农膜选用白膜与黑膜。为保障模式可行性, 关键环节配套了马铃薯联合播种收获机、甘薯移栽机与水肥一体化设备、甘薯振动链式收获机等机械化装备, 构建了覆盖全生产流程的机械化技术体系。

1.3 试验方案设计-正交试验法($L_9(3^4)$)

1.3.1 试验方法

为高效探究多因素(品种、密度、施肥、覆膜)对三薯连作产量和效益的影响, 并找出最优组合, 本试验采用四因素三水平 $L_9(3^4)$ 正交表进行正交试验, 因素水平设置见表1。按 $L_9(3^4)$ 正交表设置K1-K9共9个处理组合。每个处理3次重复, 随机区组排列。小区面积0.5亩。

表1 $L_9(3^4)$ 正交因子水平表

因素	水平1	水平2	水平3
A: 品种组合	A1: “费乌瑞它”+“鄂薯17”+“龙薯9号”	A2: “希森6号”+“鄂薯17”+“鄂薯17”	A3: “中薯5号”+“鄂薯17”+“龙薯9号”
B: 种植密度	B1: 马铃薯4500株/亩+甘薯3000株/亩	B2: 马铃薯5000株/亩+甘薯4500株/亩	B3: 马铃薯5500株/亩+甘薯5000株/亩
C: 施肥水平	C1: 常规肥(有机肥1000kg+复合肥50kg/茬)	C2: 优化肥(有机肥1500kg+复合肥70kg/茬+追肥调控)	C3: 高量肥(有机肥2000kg+复合肥90kg/茬)
D: 覆膜方式	D1: 不覆膜	D2: 白膜覆盖(仅马铃薯)	D3: 黑膜覆盖(马铃薯+早甘薯)

注: “优化肥”(C2)方案依据土壤测试结果与作物需肥规律制定, 于马铃薯块茎膨大期、甘薯块根膨大初期追施尿素与硫酸钾。以常规量和高量为对照。甘薯密度指每茬甘薯的种植密度。覆膜D3应用于马铃薯和第一茬早甘薯, 以利用其抑草增温效应, 第二茬晚甘薯一般不覆膜。

1.3.2 茬口安排(核心模式)

马铃薯: 1月底播种(覆膜), 4月20日前初收获。

第一茬甘薯(早甘薯): 4月30日前(马铃薯收获后立即)移栽, 7月初收获。

第二茬甘薯(晚甘薯): 7月20日前(早甘薯收获后立即)移栽, 11月初(霜前)收获。

关键窗口期: 马铃薯收获>早甘薯栽种: 目标≤10天; 早甘薯收获>晚甘薯栽种: 目标≤10天。

1.3.3 栽培管理要点

整地: 冬前深翻冻垡。每季作物前旋耕起垄。马铃薯垄宽70~75cm, 垄高20~25cm; 甘薯垄宽80~85cm, 垄高25~30cm。

播种与移栽: 马铃薯种薯切块消毒催芽, 按设计密度播种, 覆土厚度8~10cm。甘薯选用具有5~6节的壮苗, 采用水平浅栽或船底形栽插方式, 确保入土2~3节。

水肥管理: 除正交设计差异外, 需根据土壤墒情及时灌溉, 特别是在块茎或块根膨大期。同时, 根据化肥处理方案按需追肥。

病虫害防控: 应贯彻“预防为主, 综合防治”的方针。对于马铃薯, 需重点防控晚疫病、早疫病、蚜虫及地下害虫; 对于甘薯, 则需重点防控茎线虫病、黑斑病、病毒病、卷叶蛾及甘薯天蛾。优先选用抗病品种、农业防治、物理防治和生物防治, 科学使用高效低毒农药。

中耕除草与培土: 需及时进行, 对于马铃薯, 应重点在苗期和现蕾前进行培土。

1.4 测定项目与方法

为探究“马铃薯-甘薯-甘薯”连作模式中品种、密度、施肥与覆膜四因素对产量与效益的影响, 本试验采用四因素三水平 $L_9(3^4)$ 正交设计, 共设9个处理组合, 每处理3次重复。具体因素水平为: A品种组合(A1: “费乌瑞它”+“鄂薯17”+“龙薯9号”; A2: “希森6号”+“鄂薯17”+“鄂薯17”; A3: “中薯5号”+“鄂薯17”+“龙薯9号”); B种植密度(B1: 马铃薯4500株/亩+甘薯3000株/亩; B2: 5000+3500; B3: 5500+4000); C施肥水平(C1: 常规; C2: 优化; C3: 高量)与D覆膜方式(D1: 不覆膜; D2: 仅马铃薯覆白膜; D3: 马铃薯及第一茬甘薯覆黑膜)。试验以周年鲜薯总产为核心指标, 配套测定农艺性状、品质、经济效益及机械化作业效率, 旨在筛选最优组合并验证模式可行性, 为集约化高产栽培提供技术依据。

2 试验结果与分析

2.1 正交试验结果与方差分析

正交试验结果表明, 处理组合K4(A2B2C2D3)的周年鲜薯总产量最高(5448kg/亩)。通过对各因素水平的效应分析, 确定了最优组合为A2B3C2D3, 即: 马铃薯品种选用“希森6号”(密度5500株/亩), 甘薯两茬均选用“鄂薯17”(密度4500株/亩), 配合优化施肥方案(C2)及黑膜覆盖(马铃薯与第一茬甘薯)。

极差分析显示, 各因素对产量影响的主次顺序为: 品种组合(A) > 覆膜方式(D) > 种植密度(B) > 施肥水平(C), 其中因素A的极差最大(RA=571), 表明品种选择是该模式产量形成的关键因素。

方差分析进一步验证了品种组合(A)对周年总产量具有极显著影响($P < 0.01$), 覆膜方式(D)的影响达到显著水平($P < 0.05$), 而密度(B)与施肥(C)的影响未达显著水平。尽管如此, 在直观分析中, 较高密度(B3)与优化施肥(C2)仍表现出较好的增产趋势与成本效益。

综上, 品种优化与黑膜覆盖是提升“三薯连作”周年产量的关键技术措施, 而合理密植与优化施肥在保证产量与效益协调中亦具有重要作用。

2.2 最优组合验证(A2B3C2D3)

该组合表现优异, 周年鲜薯总产达到 5795 ± 227 kg/亩, 显著

高于正交表中其他组合及传统对照(当地主流‘小麦—玉米’模式约800~1100kg粮食/亩,折鲜薯当量远低于此),验证了其高产潜力。该组合兼顾了马铃薯的产量潜力(“希森6号”)、甘薯的优质与市场适应性(“鄂薯17”、“鄂薯17”优质鲜食)、合理的密度(充分利用光热和地力)、科学的肥水管理(优化投入)以及黑膜的综合效益(增温保墒抑草)。

2.3产量效益分析

2.3.1周年产量表现

最优组合(A2B3C2D3):

马铃薯:平均亩产 $1710 \pm 69\text{kg}$ (商品薯率85%以上)。

第一茬甘薯(早甘薯):平均亩产 $2015 \pm 81\text{kg}$ (以“鄂薯17”为主)。

第二茬甘薯(晚甘薯):平均亩产 $2070 \pm 77\text{kg}$ (以“鄂薯17”为主)。

周年总产: $5795 \pm 227\text{kg}/\text{亩}$ 。

与传统模式对比:当地主流“中稻”或“小麦—玉米”模式,周年粮食产量(折干)约为 $800 \sim 1100\text{kg}/\text{亩}$ ^[1]。三薯连作模式的鲜薯产量折干物质(按5:1折干)约为 $1159\text{kg}/\text{亩}$,仍高于传统模式,增产效果显著($P < 0.01$)。

产量稳定性:基于两年试验数据,在优化管理措施与正常气候条件下,该模式周年总产量可稳定保持在 $5400\text{kg}/\text{亩}$ 以上,展现出良好的稳产特性。

2.3.2经济效益分析(以2024年最优组合A2B3C2D3市场价计算,成本不变)

产值计算:

马铃薯: $1710\text{kg} \times 2.2\text{元}/\text{kg}$ (地头均价)=3762元

早甘薯“鄂薯17”: $2015\text{kg} \times 2.8\text{元}/\text{kg}$ (优质鲜食薯均价)=5642元

晚甘薯“鄂薯17”: $2070\text{kg} \times 1.6\text{元}/\text{kg}$ (鲜食薯均价)=3312元

总产值: $3762 + 5642 + 3312 = 12716\text{元}/\text{亩}$ 。

经济效益分析表明,该模式具有较高的产值,优于传统种植模式。

2.4关键节点问题分析

2.4.1核心瓶颈:茬口衔接时间极紧

大别山区6月易出现梅雨,9月下旬后气温下降快,留给田间作业的有效晴天有限。传统人工作业效率低下,人工挖收马铃薯、整地、栽插甘薯效率低,劳动强度巨大,难以在如此短的时间内完成大面积作业。

试验中马铃薯收获完毕至第一茬甘薯移栽完成的理想窗口期 ≤ 15 天。第一茬甘薯收获完毕至第二茬甘薯移栽完成的理想窗口期 ≤ 15 天。前茬作物收获后,土壤需迅速达到适宜后茬种植的状态。阴雨天气或土壤过湿、过干均会影响作业。甘薯生长期缩短,块根膨大不充分,产量下降。晚甘薯遭遇早霜风险增大,薯块受冻,品质和产量严重受损。超过窗口期,将显著影响后茬作物的生育进程、产量潜力及整体模式的实施成功率。模式失败风险高,挫伤农户积极性。

2.4.2劳动强度巨大与成本高

传统方式下,三季作物的播种/移栽、管理、收获环节均需大量人工。在茬口衔接期,人工需求集中爆发且强度极高,导致雇工难、雇工贵问题突出。在未机械化情况下生产成本中人工占比可占总成本40%以上,严重侵蚀利润空间。影响规模化种植。

2.4.3土壤肥力持续利用与病虫害防控压力

周年高产意味着高养分产出。需精准补充N、P、K及中微量元素,防止地力衰退^[1]。相较于盲目高量施肥(C3)方案,优化施肥(C2)方案更具经济性和有效性。

生产中尽管采用薯类轮作方式,但马铃薯和甘薯仍面临共同的土传病害(如疮痂病)和虫害(如地下害虫)风险^[2]。需加强土壤消毒工作,如使用石灰氮、生物菌剂等,同时做好抗病品种选用和轮作规划。

三季连作,田间杂草发生基数可能累积。黑膜覆盖(D3)在第一季和第二季前期是一种有效的物理除草手段,生产实际中仍需结合中耕和化学除草措施。

2.4.4品种适应性选择:

马铃薯必须选用早熟、休眠期短的品种(如“费乌瑞它”“中薯5号”),确保4月底5月初能及时收获。“希森6号”虽略晚熟,但在覆膜早播条件下,通过精细管理,同样能在窗口期内收获,其高产优势十分显著。

甘薯两茬均选用耐寒性好、前期膨大快、糖分积累早、生育期适中(90天左右)的品种(如“鄂薯17”“龙薯9号”),确保6月中下旬能收获。第二茬需关注薯块耐储藏好的品种。

3 全程机械化配套技术方案(解决茬口衔接核心瓶颈)

针对“茬口衔接时间极紧”和“劳动强度巨大”两大核心瓶颈,本项目研发集成了以高效抢收抢种为核心目标的“马铃薯—甘薯—甘薯”三薯连作全程机械化技术体系。

3.1核心目标与技术路线

目标:将马铃薯收获→早甘薯栽→早甘薯收→晚甘薯栽两个关键衔接环节的作业时间压缩至10~15天内完成,并大幅降低劳动强度。

技术路线:马铃薯联合收获(带秸秆粉碎还田)→快速整地起垄→甘薯移栽机栽插(同步铺设滴灌带)→水肥一体化管理→甘薯杀秧→甘薯联合收获→(循环)

3.2关键环节机械化解决方案

3.2.1马铃薯收获环节—抢收减负

采用4U-160型等自走式马铃薯联合收获机,其技术特点包括工作幅宽1600mm、配套动力45.6~92.4kW,适用于多种土壤,具有收净率高、破损率低的优点。作业时集成了秸秆粉碎还田装置,一次性完成薯块挖掘、清土、集箱及茎叶粉碎还田。该环节作业效率达3~5亩/小时,为人工的15~20倍以上;收获成本约300元/亩,显著低于人工(约800元/亩)。其作用不仅快速清地为下茬赢得时间,还通过秸秆还田培肥地力,并实现高明薯率(98%)与低伤薯率(<5%)。

3.2.2 衔接期整地环节—高效高质

使用大功率拖拉机(≥100马力)配套高速旋耕起垄联合作业机(如1GKN-200型旋耕机加装起垄装置),一次性完成碎土、灭茬、起垄、镇压,确保垄形规整、土壤疏松。作业效率达6~8亩/小时,为人工的20~30倍,保障在适宜墒情窗口期内快速完成整地,不误农时。

3.2.3 甘薯移栽环节—精准高速、水肥一体

采用2ZL-2型等牵引式或悬挂式甘薯移栽机(链夹式或鸭嘴式),创新集成滴灌带铺设装置与水肥一体化系统。移栽同时自动铺设滴灌带,栽后立即通过滴灌浇灌定根水并添加促根水溶肥。作业效率为2~3亩/小时(双行),是人工的6~8倍;栽插质量高,栽深一致(3~5cm)、直立度好、漏栽率低(<3%)、合格率高(95%)。同步水肥措施显著提高成活率(98%)、缩短缓苗期2~3天,为抢季晚甘薯早发快长奠定基础,同时为后续精准水肥管理提供支撑。

3.3 甘薯田间管理环节—节本增效

中耕除草环节:运用甘薯中耕培土施肥机,可一次性完成除草、松土、培土及追肥(可选)作业,其效率是人工作业的10倍有余。

植保:使用自走式高地隙喷杆喷雾机,效率高(50亩/小时)、穿透性强、施药均匀,减少人工接触农药风险。

水肥管理方面:依托移栽时铺设的滴灌系统,可实现精准、按需的水肥一体化供应,能大幅提高水肥利用效率,节省人力成本。

3.4 甘薯收获环节—抢收减损

杀秧:收获前3~7天,使用甘薯杀秧机(甩刀式或滚筒式)将地上茎叶粉碎还田或清除。效率极高(10亩/小时),为人机收获扫清障碍。

收获:第一茬(早甘薯,7月):此时土壤湿度可能仍较大。优先选用振动链式甘薯收获机(如4U-150型)^[3]。其工作原理是利用振动链筛分离薯块与土壤,对土壤粘重度和湿度适应性相对较好,明薯率高,伤薯率可控(<8%)。作业速度2~4亩/小时。

第二茬(晚甘薯,11月):此时土壤较干爽。可选用效率更高的铲筛式(摇摆筛)甘薯收获机(如4QW-180型)。其作业速度更快(3~5亩/小时),伤薯率更低(<5%),但对土壤条件要求稍高。

优势:机械化收获效率是人工作业的10~15倍,能在霜冻来临前快速完成晚甘薯抢收,保障产量和品质。通过采用机械化采摘,可以显著降低收获成本(约400元/亩)并减少劳动强度,相较于传统的人工采摘(约1000元/亩),不仅提高了生产效率,还降

低了劳动力成本。

3.5 全程机械化效益

机械化作业通过将马铃薯收获至早甘薯栽种、早甘薯收获至晚甘薯栽种的衔接时间稳定控制在15天以内,显著缩短了农艺环节间隔,有效保障了后茬作物的生育期;同时大幅降低了劳动强度与人工成本,覆盖了劳动强度最大的收、种环节,在最优组合下人工成本占比降至总成本的约22%(1800/8080),远低于传统模式的40%;机械作业还提高了作业质量与一致性,其标准化程度有利于实现高产稳产;此外,机械化有效缓解了劳动力约束,促进了百亩以上的规模化经营,成为“三薯连作”模式在大别山区成功示范和未来推广的核心技术支撑,显著提升了该模式的可行性。

4 结论

“马铃薯-甘薯-甘薯”周年三薯连作模式在大别山区的实践表明,该模式技术可行,经济效益显著。以正交试验筛选的最优组合(A2B3C2D3:马铃薯‘希森6号’5500株/亩+甘薯‘鄂薯17’4000株/亩+优化施肥+黑膜覆盖)为例,可实现周年鲜薯总产超9658公斤/亩,纯收益达12716元/亩以上,表现远超传统模式。该模式成功实施的关键在于克服茬口衔接时间极紧(≤10~15天)的核心瓶颈,而创新集成的全程机械化技术体系(涵盖马铃薯联合收获与秸秆还田、高效整地、甘薯移栽与水肥一体化、甘薯联合收获等环节)有效将衔接时间压缩至可控范围(<15天),作业效率提升3~5倍,显著降低了劳动强度与成本,为模式推广提供了核心支撑。同时,选用适宜品种、优化施肥、应用黑膜覆盖及加强病虫害综合防控等配套农艺措施,共同构成了实现周年高产、稳产、优质的重要基础。

[基金项目]

特色木薯、马铃薯、山药等产业关键技术研究与应用示范(2023YFD1600600)。

[参考文献]

- [1]吴继红,吴波,于斌,武骆俊婷.西南山区马铃薯生产机械化实践及思考——以湖北省恩施州为例[J].2025(03):38-41.
- [2]黄伟,齐思芳,贾小霞,等.陇东旱塬地区不同栽培模式对马铃薯产量和经济效益的影响[J].蔬菜.2021(11):21-24.
- [3]王二弦.振动式甘薯收获机的设计与试验[S].安徽农业大学,合肥,2023年第02期网络出版时间,2023-01-16.

作者简介:

陈雅亚(1995--),女,湖北黄冈人,硕士研究生,主要研究方向:甘薯高效种植。