

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2021)06-0529-09

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2021.06.007

不同栽培基质对马铃薯产量的影响

阳新月¹, 杨毅^{1,2}, 林茜¹, 向颖^{1,2}, 周子禹¹, 王季春^{1,2*}

(1. 西南大学农学与生物科技学院, 重庆 400715; 2. 薯类生物学与遗传育种重庆市重点实验室, 重庆 400715)

摘要: 马铃薯是世界第四大粮食作物。虽然中国马铃薯单产正在稳步上升, 但与发达国家还存在较大差异, 拥有很大的增产空间。为改良土壤性质而提高马铃薯产量, 采用盆栽试验研究特制有机基质、玉米秸秆、椰糠3种不同基质及其不同添加比例改良黏性紫色土对马铃薯产量的影响。结果表明, 混有玉米秸秆或椰糠的紫色土收获的马铃薯产量分别为57 517和59 908 kg/hm², 相比于纯紫色土分别提高65.42%和72.30%。混有玉米秸秆或椰糠的紫色土种植的马铃薯株高、单株结薯数、块茎干物质积累上均有显著优势。研究发现紫色土中掺入60%的玉米秸秆或者椰糠以及紫色土中掺入20%椰糠种植马铃薯的产量分别达到66 150, 65 575和61 238 kg/hm², 较纯紫色土分别增产90.25%, 88.60%和76.12%。种植成本上, 紫色土中即使掺入椰糠20%也高于掺入60%玉米秸秆, 新增成本8倍之多, 也不新增纯利润。综合考虑, 采用紫色土中掺入60%的玉米秸秆处理更为合理。黏性紫色土中掺入改良基质能有效促进马铃薯生长发育以及养分向块茎的转移, 显著提高马铃薯产量。研究可为西南地区马铃薯产业发展提供技术支持。

关键词: 马铃薯; 栽培基质; 紫色土; 玉米秸秆; 椰糠

Influence of Different Cultivation Substrates on Potato Yield

YANG Xinyue¹, YANG Yi^{1,2}, LIN Xi¹, XIANG Ying^{1,2}, ZHOU Ziyu¹, WANG Jichun^{1,2*}

(1. College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Key Laboratory of Biology and Genetic Breeding for Tuber and Root Crops, Chongqing 400715, China)

Abstract: Potato is the world's fourth largest food crop. Although its yield in China is rising steadily, but there is still an obvious difference with that of developed countries, and there is much room to improve. To increase the potato yield by improving soil properties, a pot experiment was conducted to study the effects of three different substrates, namely special organic substrates, corn straw and coconut bran, and the improved sticky purplish soil with different addition ratios on potato yields. The yields of potatoes harvested from the purplish soil mixed with corn straw and coconut bran were 57 517 and 59 908 kg/ha, respectively, which were 65.42% and 72.30% higher than that from pure purplish soil. Potatoes planted in the purplish soil mixed with corn straw or coconut bran had significant advantages in plant height, number of potatoes per plant and tuber dry matter accumulation. The potato yield reached 66 150, 65 575 and 61 238 kg/ha, respectively, in purplish soil mixed with 60% of corn straw or coconut bran or that mixed with 20% of coconut bran, which increased by 90.25%, 88.60% and 76.12% compared with that in pure purplish soil. However, from the point of view of planting cost, even if 20% of coconut bran mixed in purple soil, the added cost was eight times higher than that

收稿日期: 2021-11-29

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0200800); 重庆市大学生创新训练项目(S202110635087)。

作者简介: 阳新月(2001-), 女, 本科生, 从事马铃薯栽培研究。

*通信作者(Corresponding author): 王季春, 博士, 教授, 主要从事薯类栽培与育种研究, E-mail: wjchun@swu.edu.cn。

of 60% corn straw mixed in purple soil, and there was no pure added value. Considering comprehensively, it is more reasonable to mix 60% of corn straw in purple soil. Mixed with improved substrates, the sticky purplish soil could effectively promote potato growth and development as well as accelerate the transfer of nutrients to tubers, therefore significantly increasing potato yields. This study provides a technical support for the development of potato industry in southwest China.

Key Words: potato; cultivation substrate; purplish soil; corn straw; coconut bran

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是继玉米、水稻、小麦之后的世界第四大粮食作物^[1]。根据联合国粮农组织(FAO)统计^[2],截至2019年底,中国的马铃薯种植面积与马铃薯产量均为世界第一,种植面积约491万hm²,占全球种植面积的28.34%;产量达9 188万t,占全世界总产量的24.80%。但中国马铃薯单产水平仅有欧美发达国家的1/3~1/2,因此,拥有很大的增产空间^[3]。

土壤耕作时间延长、不合理的耕作制度以及不科学的种植方式而导致土壤理化性质变差、养分含量严重降低、土壤生产力下降,是导致马铃薯单产不高的主要原因^[4,5]。使用有机物介质与不良土壤混合种植可以提高作物产量。研究发现蛭石、珍珠岩、河沙与草炭等混合配制的基质栽培可使马铃薯原原种总产量、商品薯产量较纯土壤种植均显著提高^[6]。直接利用有机物介质种植不现实,添加有机物介质到土壤中改良土壤,就可能促进马铃薯的生长发育^[7]。紫色土多分布于中国西南地区,其原生矿物和盐基离子含量丰富,是南方重要旱作土壤之一^[8]。重庆市的紫色土属于酸性黏性紫色土^[9]。黏性紫色土通气透水能力差,加之人为不合理的耕作方式,导致其酸化加剧,土地生产力逐渐下降,严重影响农业经济的可持续发展。因此,在黏性紫色土中添加不同有机物介质,改良黏性紫色土理化性质,研究改良后的黏性紫色土对马铃薯单产的影响,有着重要意义。

在土壤中添加有机物介质改良土壤状况,通过改善马铃薯生长的根际环境提高马铃薯的产量主要有3种方式:改善土壤理化性质,改善土壤有机质与养分状况和改善土壤生物性状。冯焱等^[10]通过改变土壤物理性质可提高马铃薯产量,发现椰糠松软透气,将其与营养土混合,利于马铃薯根

系生长、营养吸收和匍匐茎的生长,作为马铃薯原原种的栽培基质表现优异。Machado等^[11]采用组合基质,改善作物氮需求和土壤氮有效性之间的同步,从而提高马铃薯产量。李爽等^[12]通过综合改善马铃薯栽培介质的理化性质,将玉米秸秆、草炭、蛭石相搭配,不仅使栽培介质容重减小,且速效养分含量升高,可以有效地为微型薯的生长发育积累更多营养物质。刘峰等^[13]通过对马铃薯施用保罗微生物酵素菌肥,显著提升马铃薯品质。

目前,在马铃薯栽培基质的研究中少有与地区分布广泛的土壤相混合,研究对该特定土壤的影响,以及对马铃薯产量及其器官建成差异。本研究通过有机物介质改善黏性紫色土的理化性质,提高和改善马铃薯种植现状。通过比较黏性紫色土添加不同有机物介质后种植马铃薯的产量与养分差异,筛选出改善紫色土最佳基质;通过比较优质介质中的不同基质施用比例对马铃薯的产量与养分差异,筛选出改善黏性紫色土最佳基质及其比例;通过比较不同时期的马铃薯的形态性状、生理指标与养分特征,解释改善后的黏性紫色土提高马铃薯种植产量的原因。本研究结果可为马铃薯种植介质研究提供科学依据,同时也为西南地区马铃薯产业发展提供技术支撑。

1 材料与amp;方法

1.1 试验区概况

西南大学薯类作物研究所重庆市北碚区歇马基地(N 29°46', E 106°21'),坐落于川东平行岭谷重庆市的西北部,海拔244~257 m。属于亚热带季风湿润气候,夏季高温酷热,极端最高气温达43℃,年平均气温18℃,年平均降雨量为1 133.7 mm,年平均蒸发量为1 181.1 mm^[14]。研究区域地貌形态以浅丘为主,土壤类型以黏性紫

色土为主, 是典型农业土壤之一, 其紫色土具体理化性质见表1。

表1 黏性紫色土基本理化性质
Table 1 Basic physical and chemical properties of sticky purplish soil

土壤 Soil	碱解氮(mg/kg) Alkaline nitrogen	速效磷(mg/kg) Available phosphorus	速效钾(mg/kg) Available potassium	全氮(g/kg) Total nitrogen	全磷(g/kg) Total phosphorus	全钾(g/kg) Total potassium	有机质(%) Organic matter	pH
黏性紫色土 Sticky purplish soil	59.5	10.95	91.62	0.34	0.31	8.69	2.42	5.54

1.2 试验设计

试验供试马铃薯品种为西南大学薯类重点实验室提供的‘青薯9号’, 属于晚熟品种。栽培选用纯紫色土(对照)以及添加特制生物有机基质、玉米秸秆和椰糠形成4种基质, 其中特制有机基质由四川正威实业有限公司提供, 含N 0.6%、P₂O₅ 1.5%、K₂O 0.1%、有机质52.1%, 玉米秸秆采用覆膜灌水沤制腐熟后使用, 椰糠采用覆膜加水堆制腐熟后使用。

本试验为盆栽试验, 试验设置紫色土中添加有机介质的种类A因素与有机介质混合入土壤的比例B两个因素。A设置3个水平, 分别为特制生物有机基质(A1)、玉米秸秆(A2)、椰糠(A3), B设置3个处理水平, 分别为紫色土中掺入20%的有机介质(B1)、紫色土中掺入40%的有机介质(B2)、紫色土中掺入60%的有机介质(B3); 另设纯紫色土种植(CK)。共设10个处理, 随机区组排列, 每个处理设置3个重复, 每个重复10盆。

试验盆行距为60 cm, 窝距为28 cm, 每盆播种一个种薯, 折算60 000窝/hm²。种植前统一施加单质氮、磷、钾肥作为底肥, 分别施加尿素(含有效氮46%)391.30 kg/hm²、过磷酸钙(含有效磷12%)750.00 kg/hm²、硫酸钾(含有效钾52%)692.31 kg/hm²。本试验所有花盆直径约为24 cm, 高26.5 cm, 每盆需要添加基质约9 L, 所有基质及肥料在播种前混合均匀, 并一次性加入, 除试验设置处理外其他栽培管理措施均相同。2020年1月11日播种, 6月5日收获。

1.3 测量指标与方法

1.3.1 土壤指标测定

试验前5点法取样采集0~20 cm耕作层土壤, 混合均匀后带回实验室风干用于测定土壤养分本底值。参照《土壤农化分析》^[15], 土壤有效氮含量用碱解扩散法测定。土壤有效磷、有效钾测定采用托普土壤养分速测仪TPY-16A测定; 土壤全氮含量采用凯氏定氮法测定; 土壤全磷含量用高氯酸-硫酸法测定; 土壤全钾含量用火焰光度法测定; 土壤有机质含量用重铬酸钾容量法测定; pH值采用水土比5:2混合液经过150 r/min振荡30 min后使用pH计测定; 土壤容重采用环刀法, 土壤容重=环刀内干土重/环刀容积; 总孔隙度采用公式法, 土壤孔隙度(%)=(土粒密度-土壤容重)×100/土壤容重。

1.3.2 马铃薯性状与生理指标测定

试验分别在盆栽马铃薯开花期测定株高、茎粗农艺性状, 成熟期测定产量、商品薯率(单薯重≥50 g为商品薯, 商品薯的重量占总薯块重量的百分数为商品薯率)、单株结薯数、块茎品质、栽培基质理化性状、植株养分及干重指标。

马铃薯开花期, 株高使用皮尺测定、茎粗使用游标卡尺测定。马铃薯根、茎、叶、薯干重测定将植株分器官装袋于105℃烘箱杀青30 min, 再80℃烘干至恒重。淀粉含量采用碘-碘化钾染色法^[16]。马铃薯植株全氮采用硫酸-双氧水消煮-全自动凯氏定氮仪测定, 全磷采用硫酸-双氧水消煮-钒钼黄比色法测定^[15]。

1.4 数据处理

使用Excel 2010进行数据整理, 采用DPS 7.05

对数据进行方差分析和处理平均值多重比较(SSR)。以同种有机介质中各比例均作为区组, 对不同基质马铃薯开花期农艺性状与干物质积累数据、成熟期马铃薯产量与商品性状数据进行单因素方差分析, 选出优质基质。然后, 对优质基质下的基质比例进行单因素方差分析, 选出优质基质下的优质栽培基质混合比例。最后, 将优质基质及其比例进行氮、磷养分吸收量数据单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同基质对马铃薯产量和品质的影响

2.1.1 不同基质种类对马铃薯产量和商品性状的影响

马铃薯产量和商品性状会因栽培基质不同而存在差异。椰糠(A3)种植的马铃薯产量最高, 玉米秸秆(A2)次之, 纯紫色土(CK)种植的马铃薯

产量最低。基质A3和A2种植马铃薯的产量分别为59 908和57 517 kg/hm², 相比于CK分别提高72.30%和65.42%。特制有机基质(A1)种植马铃薯产量为44 560 kg/hm², 显著低于A2、A3, 但较CK增加28.15%, 差异显著。不同基质的单株结薯数较CK均存在显著增加, 增幅为29.40%~56.25%。其中A1、A3结薯多, 二者差异不显著, 但分别较CK单株结薯数多9.0和7.7个。小薯平均单薯重总体而言都偏小, 介于13~20 g, A2、A3处理均显著高于CK和A1。各基质处理在商品薯率上与CK持平或显著降低。除A1商品薯率显著低于CK, 其他处理均与CK不存在显著差异。不同基质种植的马铃薯淀粉含量与CK相比持平或显著增加。其中A2淀粉含量显著高于其他处理, 达15.02%, 较CK增加24.96%; A3淀粉含量显著低于A2为13.75%, 较CK显著增加14.39%(表2)。

表2 不同基质种类对马铃薯产量及商品性状的影响

Table 2 Effects of different substrates on potato yields and marketable tuber characters

处理 Treatment	产量(kg/hm ²) Yield (kg/ha)	单株结薯数(No.) Tuber number per plant	小薯平均单薯重(g/个) Average weight per small tuber (g/No.)	商品薯率(%) Marketable tuber percentage	淀粉含量(%) Starch content
A1	44 560 ± 6 152 b	25.0 ± 2.4 a	15.40 ± 1.35 b	56.18 ± 4.54 b	11.84 ± 0.66 c
A2	57 517 ± 7 029 a	20.7 ± 2.9 b	19.75 ± 3.57 a	73.84 ± 5.12 a	15.02 ± 1.29 a
A3	59 908 ± 4 835 a	23.7 ± 2.6 a	15.40 ± 1.31 a	71.80 ± 2.31 a	13.75 ± 1.10 b
CK	34 770 ± 1 212 c	16.0 ± 1.1 c	13.82 ± 0.45 b	74.94 ± 0.16 a	12.02 ± 0.11 c

注: 数据为平均值 ± 标准差。同列不同小写字母表示处理间差异显著(P < 0.05)。采用SSR法。下同。

Note: Data are presented as mean ± standard deviation. Different small letters in the same column mean significant difference at 0.05 level among treatments as tested using SSR method. The same below.

2.1.2 不同基质种类对马铃薯农艺性状与植株干物质积累的影响

开花期马铃薯农艺性状在不同基质处理下也存在一定差异。各基质的株高较纯紫色土(CK)均存在显著增加, 其中玉米秸秆处理(A2)最大, 特制有机基质处理(A1)次之, 椰糠处理(A3)最小。相比CK增加10.24~15.04 cm, 增幅为16.56%~

24.31%。不同基质种植马铃薯的茎粗相差不大, 仅A1种植的马铃薯茎粗为0.96 cm, 较CK显著提高15.66%(表3)。

不同基质种类对马铃薯地上植株干物质积累影响显著。各基质处理下马铃薯在单株根、叶、块茎干重积累上与CK持平或显著增长, 在马铃薯茎干物质积累上与CK相比显著增加或减少。

表3 不同基质种类对马铃薯农艺性状与植株干物质积累的影响

Table 3 Effects of different substrates on potato agronomic characters and dry matter accumulations

处理 Treatment	株高(cm) Plant height	茎粗(cm) Stem diameter	根干重(g/株) Root dry weight (g/plant)	茎干重(g/株) Stem dry weight (g/plant)	叶干重(g/株) Leaf dry weight (g/plant)	块茎干重(g/株) Tuber dry weight (g/plant)
A1	75.50 ± 5.63 a	0.96 ± 0.09 a	1.39 ± 0.39 a	83.38 ± 7.76 a	24.14 ± 2.18 a	102.56 ± 22.19 b
A2	76.89 ± 6.06 a	0.86 ± 0.14 b	0.75 ± 0.08 b	55.43 ± 4.44 b	20.90 ± 2.97 b	155.24 ± 11.81 a
A3	72.09 ± 3.65 a	0.88 ± 0.07 ab	0.73 ± 0.08 b	43.47 ± 6.53 d	16.87 ± 3.15 c	155.69 ± 10.09 a
CK	61.85 ± 4.55 b	0.83 ± 0.05 b	0.75 ± 0.08 b	49.54 ± 4.75 c	12.59 ± 0.96 d	81.00 ± 3.40 c

马铃薯单株根干物质的积累, 除 A1 显著较 CK 增大 85.33%, 其余均与 CK 差异不显著。单株马铃薯茎、叶干重在 A1 处理下均显著高于 A2、A3, 分别较 CK 增加 68.31%、91.74%。而在块茎干重 A2 和 A3 最大, 分别为 155.24 和 155.69 g, 较 CK 高 91.65%、92.21%。A2 的茎、叶、块茎干重分别较 CK 显著增大 11.89%、66.00%、91.65%。A3 在马铃薯单株茎干物质积累中相比 CK 显著减少 12.25%, 块茎干重中显著高于 CK 92.21%(表 3)。

2.2 优质基质下的不同基质比例对马铃薯产量和品质的影响

2.2.1 优质基质下的不同基质比例对马铃薯产量和商品性状的影响

相同基质下的不同基质比例对马铃薯产量和商品性状存在显著影响。混合玉米秸秆基质种植的马铃薯在产量、单株结薯个数(B1除外)和淀粉产量均显著高于纯紫色土对照处理。玉米秸秆基质处理马铃薯产量较 CK 均有显著增加, 其产量在 B3 处达到最大, 为 66 150 kg/hm², 较 CK 增产 90.25%。商品薯率在玉米秸秆基质处理中, 也以 B3 为最大, 显著高于其他处理, 相比 CK 增加 9.93%。玉米秸秆基质处理的小薯平均单薯重和马铃薯单株结薯数与 CK 持平或显著增长, 其增幅分别为 11.01%~63.84% 和 14.38%~44.38%, 其中小薯平均单薯重以 B1 为最大, 为 22.61 g, 单薯结薯数以 B3 为最高, 为 23.1 个。淀粉产量在混合玉米秸秆基质处理中, 与 CK 相比增幅为 82.40%~118.56%, 其中 B3 最大为 9 138 kg/hm²,

B2 次之(表 4)。

混合椰糠基质种植的马铃薯在产量、单株结薯个数和淀粉产量均显著高于纯紫色土对照处理。椰糠基质处理马铃薯产量较 CK 均存在显著增加, 增幅为 56.49%~88.60%。产量在 B3 处达到最大, 为 65 575 kg/hm², 较 CK 增产 88.60%, 但与 B1 差异不显著。商品薯率在混合椰糠基质处理中均与 CK 不存在显著差异。椰糠基质处理马铃薯小薯平均单薯重和单株结薯个数较 CK 均存在显著增加。小薯平均单薯重增幅为 24.86%~41.38%, 以 B2 处理 19.51 g/个为最大, 但总体而言仍偏小, 介于 13~20 g。马铃薯单株结薯数以 B3 处理 26.7 个为最多, 较 CK 增加 66.88% 并显著高于其他各处理。椰糠基质处理马铃薯每公顷淀粉产量较 CK 均存在显著增加, 增幅为 86.56%~110.19%, 以 B1 为最大, 但处理间差异均不显著(表 4)。

2.2.2 优质基质下的不同基质比例对马铃薯农艺性状的影响

混合玉米秸秆基质处理马铃薯株高较 CK 均有显著增加。混合玉米秸秆基质株高较 CK 增幅为 15.81%~35.57%, B3 比例种植的马铃薯株高最大, 为 83.85 cm, 较 CK 增大 35.57%。随玉米秸秆占栽培基质的比例增大, 马铃薯茎粗呈上升的趋势, 其中 B3 茎粗达至 1.00 cm, 显著高于 CK。

混合椰糠基质处理马铃薯株高较 CK 均有显著增加, 但处理之间没有显著差异。随椰糠占栽培基质的比例增大, 马铃薯株高呈减小的趋

表4 优质基质下的不同基质比例对马铃薯产量和商品性状的影响

Table 4 Effects of different quality substrate ratios on potato yields and marketable tuber characters

处理 Treatment	产量(kg/hm ²) Yield (kg/ha)	商品薯率(%) Marketable tuber percentage	小薯平均单薯重(g/个) Average weight of per small tuber (g/No.)	单株结薯数(No.) Tuber number per plant	淀粉产量(kg/hm ²) Starch yield (kg/ha)
A2B1	51 387 ± 2 404 b	70.06 ± 1.76 b	22.61 ± 1.04 a	18.3 ± 3.5 bc	7 626 ± 187 b
A2B2	55 013 ± 1 411 b	68.27 ± 4.01 b	21.31 ± 1.06 a	20.7 ± 1.2 ab	8 984 ± 258 a
A2B3	66 150 ± 694 a	82.38 ± 2.30 a	15.32 ± 15.32 b	23.1 ± 1.4 a	9 138 ± 86 a
CK	34 770 ± 1 400 c	74.94 ± 0.18 b	13.80 ± 13.80 b	16.0 ± 1.2 c	4 181 ± 163 c
A3B1	61 238 ± 3 011 a	74.27 ± 1.57 a	17.23 ± 0.75 b	23.2 ± 0.2 b	8 788 ± 1 089 a
A3B2	54 413 ± 3 114 b	69.36 ± 3.30 a	19.51 ± 0.48 a	21.3 ± 1.7 b	7 800 ± 589 a
A3B3	65 575 ± 873 a	71.71 ± 0.84 a	18.45 ± 1.47 ab	26.7 ± 0.8 a	8 085 ± 606 a
CK	34 770 ± 1 400 c	74.94 ± 0.18 a	13.80 ± 0.52 c	16.0 ± 1.2 c	4 181 ± 163 b

势, 但均较CK植株高12.09%~22.12%。在马铃薯茎粗的建成上, 各处理较CK相比持平或显著

增加, 其中B3达至0.93 cm, 显著高于CK 12.04%(表5)。

表5 优质基质下的不同比例对马铃薯株高、茎粗的影响

Table 5 Effects of different quality substrate ratios on potato plant height and stem diameter

处理 Treatment	株高(cm) Plant height	茎粗(cm) Stem diameter
A2B1	75.20 ± 1.26 b	0.70 ± 0.09 c
A2B2	71.63 ± 2.42 b	0.88 ± 0.02 ab
A2B3	83.85 ± 4.60 a	1.00 ± 0.06 a
CK	61.85 ± 5.26 c	0.83 ± 0.06 bc
A3B1	75.53 ± 0.53 a	0.80 ± 0.02 c
A3B2	71.40 ± 4.76 a	0.91 ± 0.06 ab
A3B3	69.33 ± 0.75 a	0.93 ± 0.03 a
CK	61.85 ± 5.26 b	0.83 ± 0.06 bc

2.3 优质基质及其比例最优处理组合对马铃薯营养吸收的影响

2.3.1 优质基质及其比例最优处理组合对马铃薯氮素吸收的影响

优质基质及其比例在一定程度上影响马铃薯各器官氮素的吸收。A2B3处理在叶、块茎的氮素吸收分别为60.96和75.69 kg/hm², 相较CK显著增加71.43%、87.03%。A2B3处理在根氮素吸

收上与CK不存在显著差异, 在茎的吸收上相比CK显著减少22.94%。A3B3处理在块茎的氮素吸收上达69.18 kg/hm², 显著高于CK 70.94%, 在根、茎、叶的吸收上, A3B3均相比CK显著减少17.50%、35.73%、12.35%。A3B1处理在根、叶、块茎的氮素吸收上均显著高于CK 18.75%、16.87%、79.37%, 在茎吸收上显著减小42.13% (表6)。

表6 优质基质及其比例对马铃薯氮素吸收的影响(kg/hm²)

Table 6 Effect of quality substrate and its ratio on nitrogen absorption of potato (kg/ha)

处理 Treatment	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	块茎 Tuber
A2B3	0.81 ± 0.03 b	34.77 ± 5.37 b	60.96 ± 1.62 a	75.69 ± 2.05 a
A3B1	0.95 ± 0.05 a	26.11 ± 1.27 c	41.56 ± 0.48 b	72.59 ± 3.67 ab
A3B3	0.66 ± 0.06 c	29.00 ± 4.12 bc	31.65 ± 1.45 d	69.18 ± 1.49 b
CK	0.80 ± 0.04 b	45.12 ± 1.01 a	35.56 ± 1.61 c	40.47 ± 3.27 c

2.3.2 优质基质及其比例最优处理组合对马铃薯磷素吸收的影响

马铃薯各器官对磷素营养的吸收与优质基质及其比例也存在一定的影响。A2B3处理在马铃薯根、叶、块茎的磷素吸收上均较CK显著增加46.67%、39.59%、95.24%, 分别为0.22, 6.84和43.52 kg/hm²。在马铃薯茎吸收上, A2B3处理虽较CK稍有增加, 但不存在显著差异。A3B3处理在马铃薯根、茎、块茎的磷素吸收上分别为0.27、11.76和31.39 kg/hm², 较CK分别显著增大80.00%、29.37%、40.83%。在马铃薯叶的吸收上, A3B3处理虽较CK稍有波动, 但不存在显著差异。A3B1处理在马铃薯根、块茎的磷素营养吸收上较CK显著增加40.00%、86.86%, 在茎、叶营养吸收上与CK不存在显著差异(表7)。

3 讨论

不同栽培基质所具备的不同优势能影响作物产量和品质。玉米秸秆腐解可增强土壤中微生物

的活性, 提高土壤有机质含量和土壤通透性^[17]。椰糠可调节土壤的酸碱度, 有优良的保水排水能力, 能提高根系的透气能力^[18]。本研究发现玉米秸秆和椰糠可以作为改良黏性紫色土种植马铃薯的基质。采用玉米秸秆和椰糠种植马铃薯产量分别为57 517和59 908 kg/hm², 相比于纯紫色土分别提高65.42%和72.30%; 且紫色土中掺入60%的玉米秸秆或者椰糠以及紫色土中掺入20%椰糠种植马铃薯的产量分别达到66 150、65 575和61 238 kg/hm², 较纯紫色土增产90.25%、88.60%、76.12%。马铃薯中的淀粉含量是衡量马铃薯品质的重要指标之一。紫色土中掺入60%的玉米秸秆或者椰糠以及紫色土中掺入20%椰糠种植马铃薯的淀粉产量分别达9 138、8 085和8 788 kg/hm², 较纯紫色土种植提高118.56%、93.37%、110.19%。但从种植成本来看, 相应处理新增玉米秸秆成本约4 200元/hm², 新增椰糠成本约94 500元/hm²和31 500元/hm², 分别高出玉米秸秆处理的22倍和8倍。新增块茎按1元/kg计, 紫色土中掺入60%

表7 优质基质及其比例对马铃薯磷素吸收的影响(kg/hm²)
Table 7 Effect of quality substrate and its ratio on phosphorus absorption of potato (kg/ha)

处理 Treatment	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	块茎 Tuber
A2B3	0.22 ± 0.02 b	10.03 ± 1.98 ab	6.84 ± 1.45 a	43.52 ± 2.65 a
A3B1	0.21 ± 0.00 b	7.49 ± 0.93 c	6.04 ± 0.43 ab	41.65 ± 2.67 a
A3B3	0.27 ± 0.00 a	11.76 ± 1.09 a	4.01 ± 0.11 c	31.39 ± 0.41 b
CK	0.15 ± 0.00 c	9.09 ± 0.20 bc	4.90 ± 0.46 bc	22.29 ± 3.37 c

的玉米秸秆处理新增纯收益为27 180元/hm², 添加椰糠的处理均不新增纯利润, 因此紫色土中掺入60%的玉米秸秆处理经济效益显著, 更为可行。与本研究相似的结果郭金岭等^[19]发现腐熟玉米秸秆作为主要栽培基质配合蛭石, 可以显著地提高莴苣的产量及品质; 椰糠复合基质能显著促进岩生报春植株的生长发育^[20]。本试验与前人的研究相符, 采用玉米秸秆、椰糠作为栽培基质栽培马铃薯能显著促进马铃薯的生长发育, 在马铃薯的产量以及淀粉累积上产生显著差异, 可以在西南黏性紫色土区域进行推广种植。

不同基质及其比例对马铃薯的养分吸收情况存在不同。本研究发现, 紫色土中掺入60%的玉米秸秆或者椰糠以及掺入20%的椰糠处理种植马铃薯虽在营养吸收的机制上存在不同, 但均能够显著促进养分向块茎的转移。紫色土中掺入60%的玉米秸秆基质, 马铃薯在氮素营养上叶、块茎的吸收分别为60.96和75.69 kg/hm², 相较CK显著增加71.43%、87.03%; 而茎的吸收上相比CK显著减少22.94%。在磷素营养上马铃薯根、叶、块茎的吸收上均较CK显著增加46.67%、39.59%、95.24%。紫色土中掺入60%的椰糠基质的马铃薯块茎氮素吸收达69.18 kg/hm², 显著高于CK 70.94%; 但在根、茎、叶的吸收上, 均较CK显著减少17.50%、35.73%、12.35%; 该处理马铃薯根、茎、块茎的磷素吸收上分别为0.27、11.76和31.39 kg/hm², 较CK分别显著增大80.00%、29.37%、40.83%, 叶吸收上不存在显

著差异。紫色土中掺入20%的椰糠处理能够在根、叶、块茎的氮素吸收上均显著高于其他处理组合, 并较CK增加18.75%、16.87%、79.37%, 在茎吸收上显著减小42.13%; 在磷素营养上较CK显著提高40.00%、86.86%的马铃薯根和块茎的吸收。氮素营养是影响马铃薯叶片和块茎生长发育的重要因素, 磷素营养与块茎的膨大密切相关。两者在马铃薯成熟期会大量向块茎转移, 促进块茎建成^[21]。紫色土中掺入60%的玉米秸秆基质通过促进马铃薯叶的氮吸收、减弱茎的吸收, 从而提高马铃薯块茎的氮素营养; 通过协同促进马铃薯根、叶的磷素营养吸收, 促进马铃薯块茎的磷素营养。紫色土中掺入60%的椰糠在氮素营养上通过拮抗作用降低马铃薯根、茎、叶吸收, 从而提高马铃薯块茎的氮素营养; 磷素营养上通过协同促进马铃薯根、茎的营养吸收, 从而提高马铃薯块茎的磷素营养; 紫色土中掺入20%的椰糠处理能通过提升马铃薯根、叶氮素吸收, 降低茎吸收, 从而促进马铃薯的氮素吸收, 同时在磷素营养上也通过协调促进根吸收, 从而提高马铃薯块茎的磷素营养。本研究与前人的研究存在一定的差异。有研究表明, 采用污泥堆肥能显著提高非洲菊叶片的氮、磷含量, 并能增加其根的重金属含量, 但向地上部分运输的较少^[22]。发酵玉米秸秆栽培能明显增大番茄养分吸收量^[23]。而也有研究表明, 基质配方类型对小白菜植株地上部分含氮质量分数无明显差异, 对整株含氮量差异显著^[24]。差异的产生可能与不同的栽培基质及其

比例所含的营养成分与理化性质不同有关, 也与植株各部分干重差异有关, 仍有待进一步证实。

[参 考 文 献]

- [1] Zhang H, Xu F, Wu Y, *et al.* Progress of potato staple food research and industry development in China [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2017, 16(12): 2924–2932.
- [2] FAO. FAOSTAT agriculture data [EB/OL]. <http://www.fao.org/faostat/en>.
- [3] 罗其友, 高明杰, 张烁, 等. 中国马铃薯产业国际比较分析 [J]. *中国农业资源与区划*, 2021, 42(7): 1–8.
- [4] Canbol M Y, Bilen S, Cakmakci R, *et al.* Effect of plant growth promoting bacteria and soil compaction on barley seedling growth, nutrient uptake, soil properties and rhizosphere microflora [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2006, 42(4): 350–357.
- [5] Schäffer B, Attinger W, Schulin R. Compaction of restored soil by heavy agricultural machinery—soil physical and mechanical aspects [J]. *Soil and Tillage Research*, 2007, 93(1): 28–43.
- [6] 林金秀, 吴玥琳, 凌永胜, 等. 马铃薯原原种生产中基质、密度和施肥因子的优化 [J]. *福建农业学报*, 2017, 32(12): 1291–1297.
- [7] 李永堂. “贝特”土壤调理剂在马铃薯上的应用效果试验初报 [J]. *农业科技与信息*, 2017(22): 83–85.
- [8] 运剑苇. 生物炭对紫色土入渗及剖面水分动态的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- [9] 李达, 汪时机, 李贤, 等. 不同覆土压力下砂质黏性紫色土的土-水特征曲线研究 [J]. *岩土工程学报*, 2021, 43(10): 1950–1956.
- [10] 冯焱, 桑有顺, 淳俊, 等. 不同栽培基质对马铃薯原原种产量性状和经济参数的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(27): 25–27.
- [11] Machado D, Sarmiento L, Gonzalez-Prieto S. The use of organic substrates with contrasting C/N ratio in the regulation of nitrogen use efficiency and losses in a potato agroecosystem [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2010, 88(3): 411–427.
- [12] 李爽, 侯杰, 张婧颖, 等. 基质中添加适宜玉米秸秆促进马铃薯脱毒苗生长 [J]. *农业工程学报*, 2015, 31(19): 195–201.
- [13] 刘峰, 王凤, 王超, 等. 保罗微生物酵素菌肥在马铃薯上的应用效果 [J]. *吉林农业科学*, 2011, 36(4): 31–32.
- [14] 蒋亚. 甘薯耐荫性评价及其对弱光的生理响应 [D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [16] 张永成, 田丰. 马铃薯试验研究方法 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [17] 张军, 王承义. 玉米秸秆覆盖种植马铃薯全程机械化技术 [J]. *农业技术与装备*, 2016(5): 64–66.
- [18] 孙程旭, 冯美利, 刘立云, 等. 海南椰衣(椰糠)栽培介质主要理化特性分析 [J]. *热带作物学报*, 2011, 32(3): 407–411.
- [19] 郭金岭, 智利红, 张歌. 玉米秸秆基质对无土栽培莴苣生长的影响 [J]. *北方园艺*, 2011(13): 34–35.
- [20] 刘沚, 张启翔, 潘会堂. 椰糠作为栽培基质对岩生报春盆花生长发育的影响 [J]. *福建农林大学学报: 自然科学版*, 2013, 42(5): 498–502.
- [21] 孙芳. 马铃薯源、库关系的营养调控技术研究现状与展望 [J]. *内蒙古农业科技*, 2009(2): 20–24.
- [22] 秦涛. 污泥堆肥用于非洲菊无土栽培基质的研究 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2007.
- [23] 韩道杰. 基质配方对有机基质栽培番茄生长、生理特性及产量品质的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2008.
- [24] 朱国鹏, 刘志哲, 陈业渊, 等. 基于椰糠的新型无土栽培基质研究(II)——配方试种筛选 [J]. *热带作物学报*, 2005, 26(2): 100–106.