

粉垄耕作下减施肥料对木薯产量品质的影响初探

申章佑¹, 李艳英^{1*}, 周佳¹, 劳承英¹, 周灵芝¹, 韦本辉^{1*}, 黄洁², 魏云霞²

(1. 广西农业科学院经济作物研究所, 广西 南宁 530007;

2. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所, 海南 儋州 571737)

摘要:以华南 205 为研究对象, 研究粉垄耕作条件下减施肥料对木薯块根产量和品质的影响。结果显示: (1) 随着施肥量的减少, 常耕和粉垄两种耕作方式下的木薯株高、茎粗、产量均随之下降, 但粉垄耕作的下降幅度较小, 当减施肥料 30% 时仍能保持常规耕作全施肥量相当的鲜薯产量; (2) 粉垄减施肥料后对鲜薯块根中的淀粉含量、干物质无显著影响, 但是可以显著降低氢氰酸含量。因此, 粉垄耕作条件下, 减施 30% 左右的肥料可以保证木薯的产量和品质。

关键词: 木薯; 粉垄; 减施肥料; 产量; 品质

化肥可以促进作物增产, 但过犹不及, 过量施用化肥不仅造成资源浪费, 也对生态环境造成伤害, 如土壤酸化、土壤板结、重金属污染、水体污染等一系列农业面源污染问题^[1]。2015 年中央 1 号文件提出加强农业面源污染治理, 关键在于减少化肥农药的使用。随后连续几年的中央 1 号文件都强调了要“加大农业面源污染防治力度, 实现化肥农药零增长行动”, 2020 年中央 1 号文件则指出要“深入开展农药化肥减量行动”。根据国家统计局公布的数据, 我国农用化肥施用量(折纯, 下同)1980 年为 1269.4 万 t, 逐年增加, 到 2015 年达到峰值 6022.60 万 t, 随后开始缓慢下降, 2018 年为 5653.42 万 t^[2]。根据联合国粮食与农业组织的统计数据显示, 2008 至 2017 年, 我国农用化肥施用量为 412.61 kg/hm², 其中, N 为 239.46 kg/hm², P₂O₅ 为 102.92 kg/hm², K₂O 为 70.23 kg/hm², 但仍然比美国分别高出 3.34、3.29、4.28、2.66 倍^[3]。由此可见, 我国实施的化肥减量

行动初见成效, 但是与发达国家相比, 仍然任重道远。如何进一步降低我国化肥的施用量, 将是我们今后亟待解决的问题, 对防治农业面源污染、保障农业可持续发展具有重要意义。

化肥、农药零(负)增长是防治面源污染的重要行动^[4]。为此, 国内外都进行了大量减施化肥的研究, 这些减施化肥的措施主要是有机肥替代^[5-6]、微生物肥替代^[7-8]、绿肥替代^[9-10]、秸秆还田^[11-12]等, 所有的这些措施均是替代, 化肥的施用量减少了, 但是总的肥料用量并没有减少。

粉垄耕作技术是本课题组发明的一种农耕新技术, 它具有深耕深松不乱土层的效果, 经过在水稻^[13]、玉米^[14]、小麦^[15]、甘蔗^[16]、花生^[17]等作物的实践证明, 它具有较好的增产效果, 前期对水稻^[18]、小麦^[19]、青稞^[20]等作物研究发现, 粉垄在减少肥料绝对用量的情况下仍然能够保持作物的产量, 但粉垄耕作在木薯上的减施肥料试验尚未见报道。本研究以木薯为研究对象, 在粉垄耕作条件下减少肥料的绝对用量, 研究其对木薯块根产量品质的影响, 为粉垄耕作减施肥料保证作物产量提供依据, 为我国的化肥减量行动提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试木薯品种为华南 205 (中国热带农业科学院选育), 为广西地区的主栽品种。

常规耕作使用纽荷兰牌 110 马力拖拉机带三铧

收稿日期: 2020-11-12; 录用日期: 2021-01-30

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0201100); 国家自然科学基金(31860347); 广西农业科学院稳定资助科研团队项目(桂农科 2021YT056)。

作者简介: 申章佑(1983-), 副研究员, 硕士, 研究方向为薯类作物育种与栽培。E-mail: shzhyou@126.com。李艳英(1983-), 副研究员, 硕士, 研究方向为木薯、淮山育种与栽培。E-mail: 506416264@qq.com。申章佑和李艳英为共同第一作者。

通讯作者: 韦本辉, E-mail: weibenhui@126.com。

犁和卧式旋耕耙；粉垄耕作使用广西五丰机械公司生产的 LG-125 型自走式粉垄机。

尿素 (N 46.4%)：湖北大田化工股份有限公司生产，规格为 50 kg/袋；钙镁磷肥 (P_2O_5 18.0%)：云南省昆明磷都钙镁磷肥厂生产，规格为 50 kg/袋；氯化钾 (K_2O 60.0%)：中化化肥有限公司销售（原产国：约旦），规格为 50 kg/袋。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

试验于 2018 年 3 月至 2019 年 1 月在广西隆安县那桐镇大滕村 (107.8° E、22.9° N) 进行，试验地土壤为黄壤，全氮含量为 0.79 g/kg、全磷含量为 0.96 g/kg，全钾含量为 8.34 g/kg、碱解氮含量为 97.48 mg/kg、有效磷含量为 23.24 mg/kg、速效钾含量为 104.71 mg/kg，有机质含量为 23.48 g/kg，pH 为 5.32。

田间试验采用裂区设计，主因素为耕作方式：常规耕作 (R)、粉垄耕作 (FL)；副因素为施肥量：全量施肥（根据广西木薯生产中常规施肥量设定，100%）、减施肥料 10% (90%)、减施肥料 30% (70%)、减施肥料 50% (50%)、不施肥（即零施肥，0）；以常规耕作全量施肥为对照 (CK)。随机区组排列，3 次重复，小区长 6 m、宽 6 m，面积 36 m²。肥料施用方案见表 1。

表 1 肥料施用方案 (kg/hm²)

肥料	施肥量占全量施肥的比例 (%)				
	100	90	70	50	0
N	166.35	149.59	116.06	83.82	0.00
P_2O_5	16.01	14.51	11.01	8.00	0.00
K_2O	111.72	101.72	78.37	56.70	0.00

1.2.2 种植管理

2018 年 3 月 23 日进行整地，对照区用拖拉机一犁两耙，粉垄区用粉垄专用机一次性整地；3 月 27 日种植，种茎长度约 15 cm，种茎砍好后用 40% 啉虫脒可溶性粉剂 1500 倍液和 5.7% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐水分散粒剂 1500 倍液混合液浸种 10 min，然后播种，行株距离为 1 m × 1 m；4 月 3 日进行芽前封土；5 月 12 日进行间苗，每穴留 2 株健壮苗；7 月 23 日进行红蜘蛛防治，随后自然生长，2019 年 1 月 5 日收获。

1.2.3 施肥管理

在种植时不施基肥，种植后 60 d 第 1 次追肥，

用量为总量的 60%，种植后 120 d 第 2 次追肥，用量为总量的 40%。施肥时结合进行田间小培土。

1.2.4 测定项目及方法

株高、茎粗：每株两条苗中选择较高的一条进行测量，种植后 60 d 开始调查，之后每隔 30 d 调查一次，直至收获。株高为地面至生长点顶端，用卷尺测量；茎粗为距离地面 10 ~ 15 cm 位置，用游标卡尺测量。

结薯条数、薯长、薯茎、单株薯重：收获时，每个小区连续取 10 株，数结薯条数，用卷尺测量薯块的长度，用游标卡尺测量薯块茎粗，用普通电子秤称量薯块鲜重，计算平均数。

单位面积产量：收获时收取全小区块根，称量鲜重，折算单位面积产量。

品质指标：干物质含量测定采用烘干法；鲜薯氢氰酸含量的测定参照 GB 5009.36-2016《食品安全国家标准 食品中氰化物的测定》的分光光度法；淀粉含量的测定参照 GB 5009.9-2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》。

1.3 统计分析

采用 Excel 2013 进行数据的初步处理，采用 SPSS 19.0 进行数据的统计分析。

2 结果与分析

2.1 两种耕作方式下不同施肥量木薯的农艺性状

图 1A、B 显示，在同等施肥水平处理下，当施肥量为 70%、50%、0% 时，粉垄耕作的株高和茎粗均显著高于常规耕作，当施肥量为 100%、90% 时，粉垄和常规耕作之间的株高和茎粗差异均不显著。与 CK（株高 318.7 cm、茎粗 36.91 mm）相比，R70%、R50%、R0、FL0 处理均显著降低了木薯的株高和茎粗；与 CK 相比，FL100%、FL90%、FL70%、FL50%、R90% 的株高和茎粗差异均不显著。以上表明，在两种耕作方式下，虽然木薯的株高和茎粗均随着施肥量的减少而降低，但粉垄耕作减施肥料 50%，对植株的株高和茎粗无显著影响。

2.2 两种耕作方式下不同施肥量木薯的产量构成因子及产量

由图 2A 显示，在同等施肥水平处理下，当施肥量为 50%、0% 时，粉垄耕作的薯长显著长于常规耕作，分别增加了 4.4、4.6 cm；当施肥量为 100%、90%、70% 时，粉垄耕作与常规耕作之间的

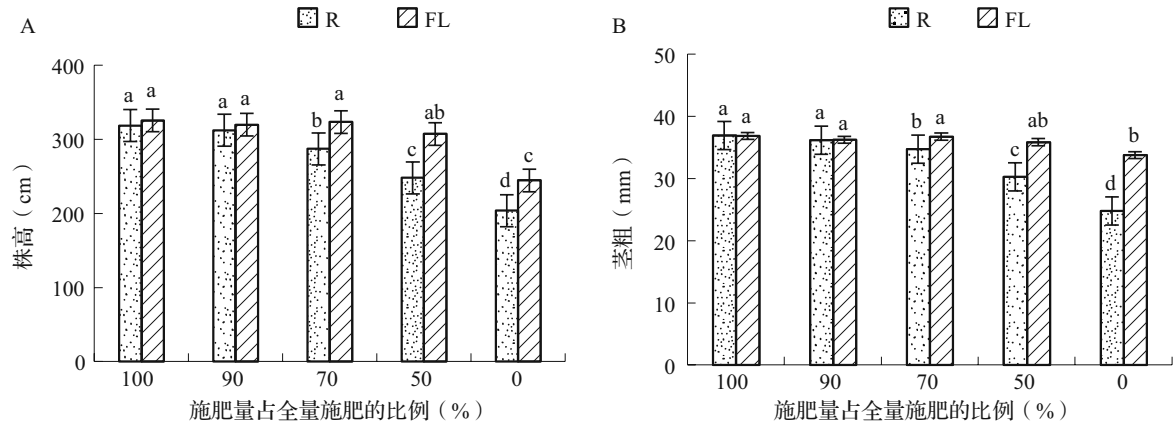


图1 两种耕作方式下不同施肥量木薯的株高和茎粗

注: 柱上字母不同表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

薯长差异不显著。两种耕作方式下不同施肥水平之间比较, CK的薯长最长, 为27.1 cm, R0的薯长最短, 为18.3 cm; 与CK相比, R50%、R0、FL0处理显著缩短了木薯的薯长; 与CK相比, FL100%、FL90%、FL70%、FL50%、R90%、R70%处理的薯长差异均不显著。以上表明, 两种耕作方式之间, 施肥水平对粉垄耕作的影响小于常规耕作, 在粉垄耕作下减施肥料50%对木薯块根的长度无显著影响。

由图2B可见, 在同等施肥水平处理下, 当施肥量为70%、50%、0%时, 粉垄耕作显著增加了

木薯的薯径, 分别增加了6.40、11.40、4.60 mm; 当施肥量为100%、90%时, 粉垄耕作与常规耕作之间的薯径差异不显著。两种耕作方式下不同施肥水平之间比较, FL70%的薯径最大, 为50.21 mm, R0的薯径最小, 为27.61 mm; 与CK (48.40 mm)相比, R70%、R50%、R0、FL0处理显著减小了木薯的薯径; 与CK相比, FL100%、FL90%、FL70%、FL50%、R90%处理的薯径差异均不显著。以上表明, 两种耕作方式之间, 施肥水平对粉垄耕作的影响小于常规耕作, 在粉垄耕作下减施肥料50%对木薯块根的薯径无显著影响。

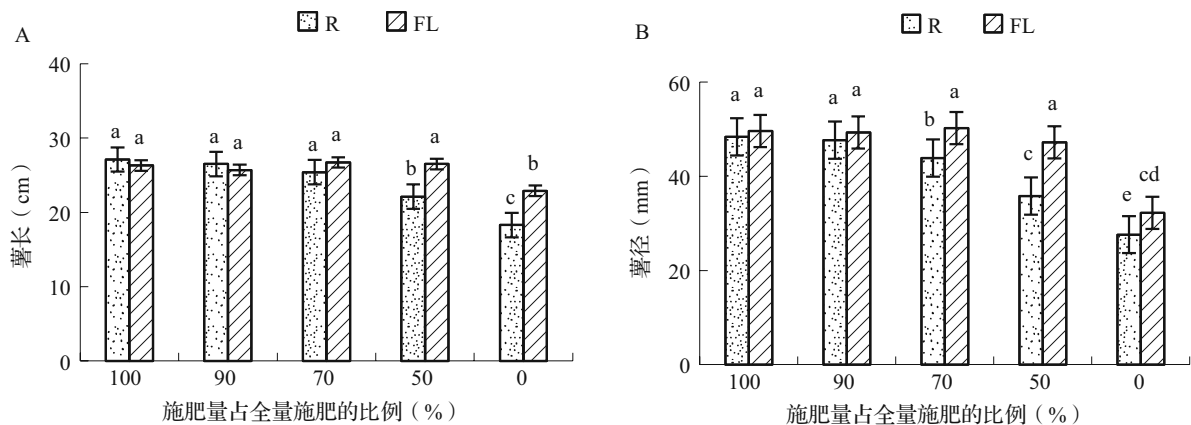


图2 两种耕作方式下不同施肥量的薯长和薯径

由表2可见, 在同等施肥水平处理下, 当施肥量为100%、70%、50%、0%时, 粉垄耕作显著增加了木薯的单株结薯条数; 当施肥量为90%时, 粉垄耕作与常规耕作之间单株结薯条数差异不显著。两种耕作方式下不同施肥水平之间比较, FL100%的单株结薯条数最多, 为12.3条, R0的最少, 为

8.3条; 与CK (10.6条)相比, R0的单株结薯条数显著减少, FL100%和FL70%的单株结薯条数显著增加; 与CK相比, R90%、R70%、R50%、FL90%、FL50%、FL0处理的单株结薯条数差异不显著。以上表明, 粉垄耕作更有利于木薯单株结薯数的形成, 且适当的减施肥料不会显著减少木薯单株结薯条数。

表 2 两种耕作方式下不同施肥量木薯块根单株结薯条数

(条)

耕作处理	施肥量占全量施肥的比例 (%)				
	100	90	70	50	0
R	10.6 ± 0.96bcd	11.2 ± 0.70bc	10.1 ± 0.61cd	9.5 ± 1.11de	8.3 ± 0.44e
FL	12.3 ± 0.85a	11.4 ± 0.65abc	12.1 ± 0.87a	11.8 ± 0.91ab	10.3 ± 0.44cd

注: 不同小写字母表示处理之间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

由图 3 可知, 在相同施肥水平处理下, 当施肥量为 90%、70%、50%、0% 时, 粉垄耕作显著地增加木薯的鲜薯产量, 增产幅度分别为 11.86%、34.01%、28.65%、32.12%; 当施肥量为 100% 时, 粉垄耕作与常规耕作的鲜薯产量差异不显著。两种耕作方式下不同施肥水平之间比较, FL90% 的鲜薯产量最高, 为 33105 kg/hm², R0 的产量最低, 为 14805 kg/hm²; 与 CK (30690 kg/hm²) 相比, R70%、R50%、R0、FL50%、FL0 处理显著降低了鲜薯产量, 降低幅度分别为 25.83%、38.90%、107.29%、7.97%、56.90%; 与 CK 相比, FL100%、FL90%、FL70% 处理的鲜薯产量差异不显著。以上表明, 两种耕作方式之间, 施肥水平对粉垄耕作的影响小于常规耕作, 粉垄耕作下减施肥料 30% 可以保证木薯的鲜薯产量。

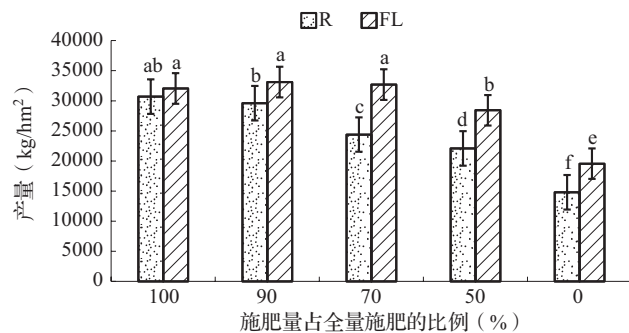


图 3 两种耕作方式下不同施肥量木薯块根产量 (鲜重)

2.3 两种耕作方式下不同施肥量木薯的块根品质

由表 3 可见, 在同等施肥水平处理下, 粉垄耕作与常规耕作木薯块根的淀粉含量均无显著差异; 两种耕作方式下不同施肥水平之间比较, FL100% 的淀粉含量最高, 为 29.4%, R0 的最低, 为 25.0%; 与 CK (28.7%) 相比, R0 显著降低了鲜薯淀粉含量; 与 CK 相比, 其他各处理之间鲜薯淀粉含量差异均不显著。在同等施肥水平处理下, 粉垄耕作与常规耕作木薯块根的干物质含量均无显著差异; 两种耕作方式下不同施肥水平之间比较, CK 和 FL70% 的干物质含量最高, 均为 36.7%, R70% 的最低, 为 35.3%, 但各个处理之间均无显著差异。在同等施肥水平处理下, 粉垄耕作的氢氰酸含量均显著低于常规耕作, 分别降低 22.9、21.8、29.1、17.3、17.0 mg/kg; 两种耕作方式下不同施肥水平之间比较, CK 的氢氰酸含量最高, 为 115.2 mg/kg, FL50% 的最低, 为 77.5 mg/kg; 与 CK 相比, R50%、R0、FL100%、FL90%、FL70%、FL50%、FL0 处理显著降低了木薯块根中的氢氰酸含量, 与 CK 相比, R90%、R70% 处理块根中的氢氰酸含量差异不显著。以上表明, 常规耕作和粉垄耕作方式下, 减肥栽培均对淀粉和干物质含量影响较小, 而减少施肥量能有效降低木薯块根中的氢氰酸含量, 与常规耕作相比, 粉垄耕作能更有效降低木薯块根中氢氰酸的含量。

表 3 两种耕作方式下不同施肥量木薯块根品质指标

品质指标	耕作处理	施肥量占全量施肥的比例 (%)				
		100	90	70	50	0
淀粉 (%)	R	28.7 ± 1.41ab	28.6 ± 1.20ab	28.1 ± 1.03abc	27.1 ± 1.73abc	25.0 ± 2.43c
	FL	29.4 ± 1.15a	29.6 ± 1.74a	28.9 ± 1.95ab	27.7 ± 2.06abc	25.8 ± 1.39bc
干物质 (%)	R	36.7 ± 1.60a	36.2 ± 2.25a	35.3 ± 2.22a	35.7 ± 1.56a	36.6 ± 1.87a
	FL	36.2 ± 1.19a	36.4 ± 1.32a	36.7 ± 1.76a	35.9 ± 1.03a	36.2 ± 1.63a
氢氰酸 (mg/kg)	R	115.2 ± 5.23a	111.5 ± 4.43a	109.7 ± 8.03a	94.8 ± 5.67bc	99.3 ± 6.77b
	FL	92.3 ± 5.15bc	89.7 ± 5.76cd	80.6 ± 4.61e	77.5 ± 5.65e	82.3 ± 4.54de

3 讨论与结论

3.1 粉垄条件下减施肥料用量对木薯农艺性状的影响

在一定肥料用量范围内,作物的株高、茎粗会随着施肥量的增加而增高、增粗^[21]。张富仓等^[22]在研究施肥水平对玉米产量影响时指出,施肥量对玉米株高有显著的影响,随着施肥量增加株高增高。赵力兴等^[23]研究指出,施肥量对苜蓿茎粗影响显著,随着施肥量的增加苜蓿茎粗的变化趋势为先上升后下降。土壤理化性状改善有利于植株生长^[24]。粉垄耕作可以显著地改善土壤理化性状,粉垄耕作增加了1~0.25 mm粒径机械稳定性团聚体含量($P<0.05$),减少了大于3 mm粒径水稳性团聚体含量($P<0.05$),土壤微形态改变呈现出骨骼颗粒细小且排列紧密、表面光滑、土壤比表面积较大、孔隙分布更丰富等特点^[25]。适当提高土壤的含水量有利于作物的生长发育^[26]。粉垄耕作后可有效增加耕作层厚度、降低土壤容重、增大土壤孔隙度、提高土壤含水量、土壤调蓄水分能力、水分利用效率,协调土壤三相比,促进作物生长发育^[27-28]。本研究中木薯的株高和茎粗随着施肥量的减少而降低,但在粉垄耕作方式下,减施肥料对该参数影响较小,造成这一结果的原因可能是粉垄耕作改善了土壤生态环境,有利于作物植株生长。

3.2 粉垄条件下减施肥料用量对木薯产量的影响

作物的产量由产量构成因子决定,木薯块根的产量由薯长、薯径、单株结薯条数和出苗率决定,薯长、薯径和单株结薯条数决定单株薯重,而单株薯重与出苗率又直接决定单位面积内的鲜薯产量^[29]。粉垄耕作已经被证实有利于作物根系的生长发育,吕婧娴等^[30]在研究粉垄栽培玉米中发现,粉垄耕作可促进玉米根系生长,与旋耕相比,根长、根数、生物量均有所增加。甘秀芹等^[31]指出,粉垄栽培的桑树与传统栽培的相比,根系数、单株枝条数分别增加64.71%、37.55%,且都达到显著水平。粉垄耕作方式有利于水稻植株分蘖中后期的分蘖生长,全生育期白根多、活力强,叶绿素相对含量(SPAD)极显著高于常规耕作,叶片净光合速率高,并且持绿时间长,利于光合同化物的生产积累^[32]。韦本辉等^[33]的研究发现,木薯粉垄栽培比常规栽培单株薯长增加6.94%~60.00%,

薯径增加8.40%~13.91%,单株结薯条数增加23.13%~39.10%。本研究中,粉垄耕作减施肥料30%时,其薯长、薯径、单株结薯条数仍可以与常规耕作全量施肥基本持平,其原因就是粉垄耕作可以促进作物根系生长。

粉垄耕作不仅能改善土壤生态环境,促进作物根系发达及植株的生长发育,最主要的是其可以显著提高作物产量,保障作物高产稳产。本研究中,在同等施肥量时,粉垄耕作的块根鲜重均比常规耕作高4.45%~32.12%,符合粉垄栽培作物的增产规律,而当粉垄耕作减施肥料30%时,仍然获得与常规耕作全量施肥相当的产量,这与在水稻^[18]、小麦^[19]、青稞^[20]上的粉垄减施肥料试验结果一致。以上说明,粉垄耕作条件下,减施肥料30%左右可以保证木薯高产稳产。

3.3 粉垄条件下减施肥料对木薯块根品质的影响

作物的品质主要由品种决定,受栽培环境的影响,作物在生长发育过程中,遇到干旱、高温、冷害、水淹等环境胁迫后,其体内的次生代谢产物会增加^[34]。氢氰酸属于作物中的次生代谢产物,Abdelsalam Abdelwahab^[35]研究表明,在环境胁迫条件下植物体内的氢氰酸含量会增加。相比与粉垄耕作的良好土壤环境,常规耕作的土壤更加容易板结、受旱等,相当于常规耕作的木薯在生长发育过程中更加容易受到环境的胁迫,因此块根中的氢氰酸含量更高。以上说明,粉垄耕作可以显著地降低木薯块根中的氢氰酸含量。

木薯淀粉主要由叶片光合作用产生的碳水化合物转运到块根中后合成淀粉,淀粉含量主要由木薯品种决定;干物质含量则完全体现光合作用合成碳水化合物的情况,在相似的栽培环境中,这两个指标的变化幅度很小。在本试验中,除了零施肥处理的淀粉含量显著低于全量施肥处理的之外,各个施肥处理在25%~29%之间波动,虽然淀粉含量有随着施肥量的减少而降低的趋势,但是差异不显著;干物质含量均在36.0%左右。说明,适当减施肥料对木薯块根中的淀粉和干物质含量没有影响。

综上所述,粉垄耕作条件下适当减施肥料可以保证木薯块根的产量,并显著降低块根中氢氰酸的含量,兼顾投入与产量经济效益,建议粉垄条件下减施肥料30%为宜。对于是否因为粉垄耕作条件

下提高了肥料的利用率,从而使得减施肥料仍能稳产;是否因为粉垄耕作后土壤环境改善,导致木薯块根中的氢氰酸含量降低,这些问题有待下一步研究。

参考文献:

- [1] 孙铖,周华真,陈磊,等.农田化肥氮磷地表径流污染风险评估[J].农业环境科学学报,2017,36(7):1266-1273.
- [2] 中华人民共和国国家统计局.国家数据/农用化肥折纯量[DB/OL].[2021-01-25].<http://data.stats.gov.cn/search.htm?s=%E5%86%9C%E7%94%A8%E5%8C%96%E8%82%A5%E6%96%BD%E7%94%A8%E6%8A%98%E7%BA%AF%E9%87%8F>.
- [3] FAO. Data, Fertilizers indicators [DB/OL].[2021-01-25].<http://www.fao.org/faostat/en/#data/EF>.
- [4] 金书秦,邢晓旭.农业面源污染的趋势研判、政策评述和对策建议[J].中国农业科学,2018,51(3):593-600.
- [5] 武星魁,姜振萃,陆志新,等.有机肥部分替代化肥氮对叶菜产量和环境效应的影响[J].中国生态农业学报,2020,28(3):349-356.
- [6] Kumar S, Kundu M, Das A, et al. Substitution of mineral fertilizers with biofertilizer: an alternate to improve the growth, yield and functional biochemical properties of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) cv. Camarosa [J]. Journal of Plant Nutrition, 2019, 42(15): 1818-1837.
- [7] 曾研华,吴建富,曾勇军,等.机收稻草全量还田减施化肥对双季晚稻养分吸收利用及产量的影响[J].作物学报,2018,44(3):454-462.
- [8] 刘宇辉,田秀平,张晴雯,等.复合菌肥部分替代化肥对冬小麦氮素吸收的影响[J].华北农学报,2019,34(2):178-186.
- [9] Fang Y, Wang F, Jia X B, et al. Distinct responses of ammonia-oxidizing bacteria and archaea to green manure combined with reduced chemical fertilizer in a paddy soil [J]. Journal of Soils and Sediments, 2019, 19(4): 1613-1623.
- [10] 方宇,王飞,贾宪波,等.绿肥配施减量化肥对土壤固氮菌群落的影响[J].农业环境科学学报,2018,37(9):1933-1941.
- [11] 王学敏,刘兴,郝丽英,等.秸秆还田结合氮肥减施对玉米产量和土壤性质的影响[J].生态学杂志,2020,39(2):507-516.
- [12] Wang W, Chen C L, Wu X H, et al. Effects of reduced chemical fertilizer combined with straw retention on greenhouse gas budget and crop production in double rice fields [J]. Biology and Fertility of Soils, 2019, 55(1): 89-96.
- [13] 韦本辉,刘斌,甘秀芹,等.粉垄栽培对水稻产量和品质的影响[J].中国农业科学,2012,45(19):3946-3954.
- [14] 陈占飞.复配风沙土粉垄与传统整地对玉米农艺现状 & 产量比较研究[J].陕西农业科学,2019,65(2):45-46.
- [15] 聂胜委,张玉亭,汤丰收,等.粉垄耕作对潮土冬小麦生长及产量的影响初探[J].河南农业科学,2015,44(2):19-21,43.
- [16] 王奇,陈培赛,周佳,等.粉垄耕作对甘蔗农艺性状及产量的影响[J].江苏农业科学,2019,47(4):65-68.
- [17] 韦本辉,申章佑,甘秀芹,等.粉垄栽培对旱地作物产量品质的影响[J].中国农业科技导报,2012,14(4):101-105.
- [18] 甘秀芹,周灵芝,刘斌,等.粉垄栽培水稻减施化肥的产量及经济效益[J].湖南农业科学,2017(11):17-20,24.
- [19] 聂胜委,张巧萍,何宁,等.立式旋耕方式下氮肥不同减施水平对小麦品质的影响[J].农业资源与环境学报,2021,38(3):442-447.
- [20] 胡朝霞,米玛次仁,拥嘎,等.粉垄减肥栽培对春青稞山青9号生长和产量的影响[J].湖南农业科学,2020(5):21-25.
- [21] 周萍萍,赵军,颜红海,等.播期、播种量与施肥量对裸燕麦籽粒产量及农艺性状的影响[J].草业科学,2015,32(3):433-441.
- [22] 张富仓,严富来,范兴科,等.滴灌施肥水平对宁夏春玉米产量和水肥利用效率的影响[J].农业工程学报,2018,34(22):111-120.
- [23] 赵力兴,高阳,李天琦,等.施肥对科尔沁沙地苜蓿生长及产草量的影响[J].中国农业科技导报,2019,21(7):136-144.
- [24] 马政,张停林,黄思杰.高温闷棚在设施番茄生产中的应用效果[J].上海蔬菜,2018(3):57-58.
- [25] 王世佳,蒋代华,朱文国,等.粉垄耕作对农田赤红壤团聚体结构的影响[J].土壤学报,2020,57(2):326-335.
- [26] 何平如,张富仓,范军亮,等.土壤水分调控对新疆滴灌棉花生长、品质及水分利用的影响[J].干旱地区农业研究,2020,38(4):39-46.
- [27] 刘江汉,何文寿.粉垄耕作对土壤性质及马铃薯产量的影响[J].东北农业科学,2020,45(2):20-25.
- [28] 李铁冰,逢焕成,杨雪,等.粉垄耕作对黄淮海北部土壤水分及其利用效率的影响[J].生态学报,2013,33(23):7478-7486.
- [29] 叶剑秋,张洁,肖鑫辉,等.54份哥伦比亚木薯种质的育种特性评价[J].华中师范大学学报(自然科学版),2017,51(6):809-816.
- [30] 吕婧娴,陈占飞,田帅,等.榆林市风沙草滩区粉垄耕作对玉米根系及产量的影响[J].现代农业科技,2017(2):5,7.
- [31] 甘秀芹,韦本辉,申章佑,等.桑树粉垄栽培的根系、植株及产量性状表现[J].浙江农业科学,2011(3):705-707.
- [32] 唐茂艳,王强,陈雷,等.水稻粉垄耕作生长及生理特性研究[J].湖北农业科学,2015,54(16):3854-3856.
- [33] 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.
- [34] 梁建萍,贾小云,刘亚令,等.干旱胁迫对蒙古黄芪生长

及根部次生代谢物含量的影响 [J]. 生态学报, 2016, 36 (14): 4415–4422.

胁迫下高粱氢氰酸含量及形态和生理指标的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2020.

[35] Abdelsalam Abdelwahab A S. 植物生长调节剂和施氮量对干旱

Effect of fertilizer reduction on cassava yield and quality under Fenlong tillage

SHEN Zhang-you¹, LI Yan-ying^{1#}, ZHOU Jia¹, LAO Cheng-ying¹, ZHOU Ling-zhi¹, WEI Ben-hui^{1*}, HUANG Jie², WEI Yun-xia² (1. Cash Crops Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning Guangxi 530007; 2. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Science, Danzhou Hainan 571737)

Abstract: South China 205 of cassava was taken as the research object, and a study was conducted to investigate the effect of fertilizer reduction on cassava root yield and quality under the Fenlong tillage. The results showed that: (1) With the fertilizer reduction, the cassava plant height, stem diameter, yield decreased under both traditional tillage and Fenlong tillage. However, the decline under Fenlong tillage was smaller, and 30% reduction of fertilizer treatment remained the similar yield with the treatment without fertilizer reduction under traditional tillage. (2) Fenlong tillage with reduction fertilizer management had no obvious effect on starch content and dry matter in fresh tuber, but significantly reduced hydrocyanic acid content. Therefore, about 30% reduction of fertilizer application can ensure the yield and quality of cassava under Fenlong tillage.

Key words: cassava; Fenlong; reduce fertilizer; yield; quality