

研究论文



Sukadana site, East Lampung, Indonesia. Photo by A. Taufiq.

在印度尼西亚酸性旱地上施用钾肥对木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 的影响

Taufiq, A.^{(1)(*)}, Subandi⁽¹⁾, and H. Suyanto⁽¹⁾

摘要

印度尼西亚的楠榜 (Lampung) 地区是主要的木薯生产地。该地区的土壤呈酸性, 阳离子交换量 (CEC) 非常低, 有机质含量更少, 甚至可忽略不计。在这种土壤条件下假定钾 (K) 的可用性对木薯种植是一个限制因素, 从木薯种植后15天开始, 按序每次施用6个不同剂量的钾肥 (0、30、60、90、120和180 kg K₂O ha⁻¹), 另外再设一个农民的常规施肥作为对照, 试验在Sukadana和Rumbia在两个地点同时进行。除了一个处理施用200 kg N ha⁻¹和60 kg P₂O₅ ha⁻¹外, 所有的钾肥处理结合施用135 kg N ha⁻¹和36 kg P₂O₅ ha⁻¹。氮磷钾肥分别选用尿素 (46% N)、SP36

(36 kg P₂O₅) 和氯化钾 (60% K₂O)。然而在收获时发现, 不同的钾肥施用量几乎没有影响到土壤属性, 但是它们能明显的影响植物生长、植物组织器官中钾的含量, 以及块茎产量。在Sukadana, 60-90 g K₂O ha⁻¹是最佳钾肥施用量, 基本能满足木薯对钾的需求。而在Rumbia, 最佳钾肥施用量却稍高。然而, 一些证据表明, 在该地区施用

⁽¹⁾ 印度尼西亚豆科和块茎作物研究所, Jl. Raya Kendalpayak km 8, PO Box 66, Malang 65101 East Java, Indonesia

^(*) 通讯作者: ofic_rilet@yahoo.com

注: 国际钾肥研究所感谢前东南亚项目协调员Mr. Alexey Shcherbakov对这个项目的大力支持。

钾肥及其他手段来提高木薯生产的潜力是相当高的。对一些措施,如所施钾肥随作物的生长季分多次施用,补充有机堆肥来提高土壤肥力和木薯作物产量进行了讨论。

引言

印度尼西亚是世界上第四大木薯生产国,位于尼日利亚、巴西和泰国之后。BPS的数据 (<http://www.bps.go.id>) 显示,在过去的10年(2000-2011)木薯种植面积从1.28万公顷下降到118万公顷,下降了7.7%,但生产力却增长了62.4%,从 12.5 t ha^{-1} 增加到 20.3 t ha^{-1} 。楠榜、东爪哇、中爪哇是主要的木薯生产省份,分别占木薯种植总面积的26.3%、17.7%和16.2%。这些地区的土壤类型主要是老成土、淋溶土、始成土,肥力较差(Suryana, 2007)。

木薯的用途比较广泛,可作食品、动物饲料以及众多行业中的原料,因此未来对木薯生产的需求可能增加。在印度尼西亚,木薯在粮食安全中占据相当重要的战略地位,这是因为64%的木薯是作为粮食来消费的。最近,关于发展木薯作为生物燃料的原料的相关研究已经开始启动。

在楠榜,木薯主要加工成木薯粉。2013年的工业和贸易报告中提到该地区有66个木薯粉生产商,对楠榜的资本增值和福利影响贡献重大(Nugroho and Hanani, 2007),木薯产品稳步增加,楠榜农业的官方数据显示,2012年木薯种植面积为366,830公顷,比2011年增加了42.6%,产量增加了121%。

在印度尼西亚,如果栽培管理措施恰当,木薯产量可以达到 $25-40 \text{ t ha}^{-1}$ (Wargiono *et al.*, 2006)。Taufiq *et al.*(2009)报道,当氮(N)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O)肥的施用量分别为70、30、115 kg ha^{-1} 时,木薯的产量可以达到 63 t ha^{-1} 。木薯生长所要吸收的营养数量较高。Howeler (1981)发现每生产 21 t ha^{-1} 的新鲜块茎,木薯需要吸收氮(N)、磷(P)、钾(K)的量分别为87、37.6、117 kg ha^{-1} 。Wargiono *et al.*(2006)报道,当木薯产量为 30 t ha^{-1} 时,需要分别吸收147.6、20.7、148.8 kg ha^{-1} 的氮(N)、磷(P)、钾(K)。Amanullah *et al.*(2007)研究表明当新鲜块茎产量为 $20-35 \text{ t ha}^{-1}$ 时,需求氮(N)、磷(P)、钾(K)的营养元素比例比较稳定,分别约为6、0.75、6 kg ha^{-1} 。这些数据表明木薯对钾吸收需求与氮的需求一

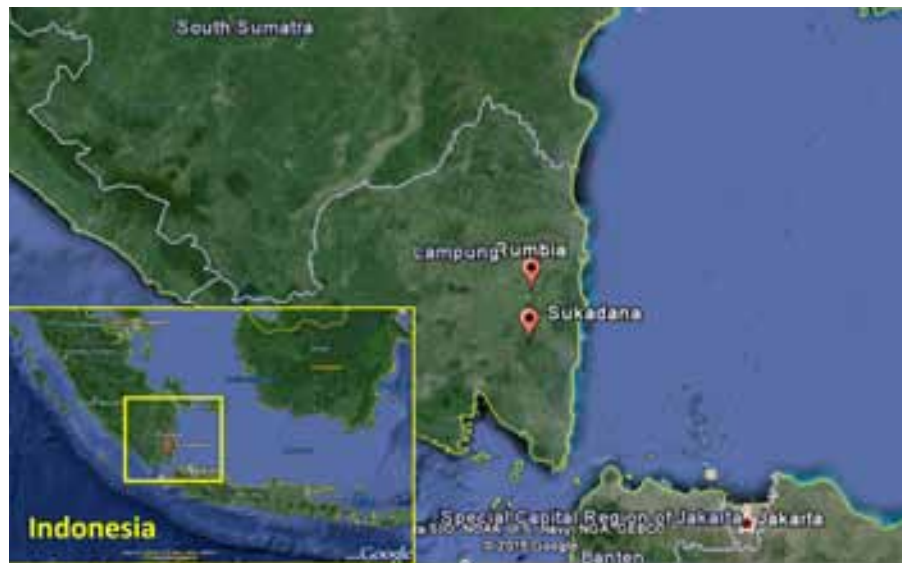


图1. 印度尼西亚楠榜Sukadana and Rumbia两个试验点示意图。图片制作使用GoogleEarth™。

样高。Putthacharoen *et al.*(1998)的研究表明,在收获物中,木薯吸收的钾素同玉米和花生吸收的钾素一样高。

很多研究(Maduakor, 1997; Suyamto, 1998; Nguyen *et al.*, 2002; Ispandi and Munip, 2005)已经表明施用钾肥会对木薯产量带来有利的影响,特别是在贫瘠的土壤上施用钾肥,土壤中可交换的钾离子含量处于临界阈值以下,即低于 $0.15 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1} \text{ 土}$ (Howeler, 1981)。时,更是这样此外,已有研究表明如果连续5年不施用钾肥,种植的木薯产量下降明显(El-Sharkawy和Cadavid, 2000)。不仅如此,木薯产量的减少还受到钾肥施用习惯的严重影响。总之,木薯对施肥的反应很大程度上取决于当地的土壤属性和农民的施肥措施。过去,大多数的印度尼西亚木薯种植户不施用任何肥料(FAO, 2005)。即使那些施用肥料的种植户,也是经常习惯于施用高水平的氮肥,较少的磷肥,不施用钾肥。收获时,几乎所有的木薯生产物都被带出土地,因此土壤肥力,特别是土壤钾素量迅速下降。因此,根据当地土壤属性和木薯种植需求优化钾肥施用量非常重要。

本研究的目的是:

1. 在印度尼西亚主要木薯生产地楠榜的两种典型土壤上安排试验,验证随钾肥施用量的增加对木薯带来的影响。
2. 与一般的缺钾施肥相比,验证施用钾肥对木薯产量带来的有利影响。
3. 向木薯种植户和农业推广人员灌输平衡营养管理的经验,并进行成本及收益比率分析。

材料和方法

种植日期及试验地点

田间试验安排在两处农户的田地 (图1): 一处位于楠榜省东楠榜区Sukadana街道办事处Sukadana Ilir村, 东经105° 32' 27.98", 南纬5° 2' 38.63", 海拔46m, 2012年11月22日播种, 2013年6月20日收获。另一处位于楠榜省楠榜中心区Rumbia街道办事处Restubaru村, 东经105° 34' 12.40", 南纬4° 46' 15.30", 海拔47 m。2012年11月16日播种, 2013年6月14日收获。

试验安排

试验由7个处理组成, 随机完全区组设计, 重复3次。包括6个不同钾肥施用量处理 (0、30、60、90、120和180 kg K₂O ha⁻¹) 和1个农民常规施肥处理。每个处理重复10次。除了一个处理施用200 kg N ha⁻¹和60 kg P₂O₅ ha⁻¹外, 所有的钾肥处理结合施用135 kg N ha⁻¹和36 kg P₂O₅ ha⁻¹。氮磷钾肥分别选用尿素 (46% N)、SP36 (36 kg P₂O₅) 和氯化钾 (60% K₂O)。在一个作物生长季氮肥共施用三次, 即在作物播种后的30、90、120天后分别施用氮肥年度用量的25%、50%和25%。磷肥在种植时施用50%, 剩余的在播种后90天追施。钾肥在播种后15天一次施用, 施用方法为在作物两边穴施, 并覆土。

Sukadana的农民习惯施肥为施用300 kg ha⁻¹的Phonska (N-P-K-S为15-15-15-10) 和300 kg ha⁻¹的尿素 (46% N)。Rumbi的农民习惯施肥为施用200 kg ha⁻¹的Phonska (N-P-K-S为15-15-15-10) 和200 kg ha⁻¹的SP36 (36% P₂O₅)。所有肥料都是在种植后30天施用。

试验田间实施

土壤耕耘两次直至平整没有沟垄。根据当地农民的茎插习惯播种, 品种选择当地的常规木薯品种, 农民比较喜欢短熟品种, 一般在种植后6个月就可收获。在Sukadana, 种植的木薯品种为UJ3, 株距为50厘米, 行距为60厘米, 木薯的种植密度为33,333株ha⁻¹。在Rumbia, 种植的木薯品种为UJ5, 株距为50厘米, 行距为70厘米, 木薯的种植密度为28,570株ha⁻¹。所有试验地点的农民通常把木薯作为单一种植作物, 一年种植两次。通常在种植七个月后收获木薯 (约为播种后210天收获)。Sukadana和Rumbia试验田的小区面积分别为7.2米×8米和7米×8米。

在播种30天后进行间苗, 每蔸留2苗。在播种后30、60、90天根据田间情况人工除草。施用化学农药进行病虫害防治。

数据收集

首先取0-20厘米及20-40厘米的土壤, 分析土壤属性包括土壤质地、pH、有效磷、可交换性钾、钙和镁以及有机质。使用土钻从试验点有规律的采取9个土壤样品。相同深度的土样混合在一起带回实验室分析。

在播种后30、60、90、120、150、180天及收获时, 每小区选择5棵木薯测量株高。在收获时, 每小区选择3棵木薯测量叶子、茎和块茎的干重, 样品在105° C至少烘干48小时, 直到恒重。

在收获时, 测定叶片 (包括叶柄)、茎和块茎中钾的含量。同时, 在收获时从各小区根 (块茎) 区随机取土样进行土壤钾素的分析。施用Eviati dan Sulaeman (2009) 的方法分析测定植株和土壤中的钾。



Performance of Cassava of c.v UJ3 five months after planting, grown on acidic dryland at Sukadana site, East Lampung, without K fertilization (treatment no. 2=135 kg N ha⁻¹ + 36 kg P₂O₅ ha⁻¹ + 0 kg K₂O ha⁻¹). Photo by A. Taufiq.



Performance of Cassava of c.v UJ3 five months after planting grown on acidic dryland at Sukadana site, East Lampung, with K fertilization (treatment no. 4=135 kg N ha⁻¹ + 36 kg P₂O₅ ha⁻¹ + 60 kg K₂O ha⁻¹). Photo by A. Taufiq.

收获时从各小区的中间位置选取6行木薯测定新鲜块茎产量。随机选取块茎,并使用酸水解的方法测定木薯中的淀粉含量(Nelson-Somogyi *et al.*, 1997)。

使用Statistix 3.0统计软件对收集的数据进行方差分析和均值比较(N.H. Statistical Software)。

结论与讨论

土壤属性

表层土(0-20厘米)和底土(20-40厘米)这两个层次的土壤均为砂土居多,但是也包含了相当一部分的粘土(表1)。这两个层次的土壤pH均呈酸性,甚至呈强酸性。通过测定有机碳(C)来确定土壤中有机质的量,测定结果显示这两个层次的土壤有机质含量很低,尤其是表层土壤含量更低。表层土的有效磷含量较高,比临界阈值的18 ppm P_2O_5 要高(Howeler, 1981),但底层土的含量却比临界阈值低。钾的有效性(可交换性钾)在两个层次都非常低(表1),都低于临界阈值0.15 meq 100 g^{-1} (Howeler, 1981)。在这两个土壤层次,可交换性的钙高于临界阈值0.25 meq 100 g^{-1} (Howeler, 1981)。

收获时(播种后210天),表层土壤钾的含量依然很低,随钾肥施用量的增加,土壤中的钾含量变化不大(表2)。在Rumbia试验地,随钾肥施用量的增加,土壤中的钾含量变化差异显著,速效钾含量与施钾量呈正相关($r=0.79^*$)。此外,在Sukadana试验地,从木薯种植到收获期间,土壤中有效含量稍微增加,但Rumbia试验地,却是减少(表1和表2)。有趣的是,在这两处试验地的农民的常规施肥处理中,土壤中有效钾的含量与那些施用高量钾肥的处理相当(表2)。

木薯的生长和发育

施肥处理对两处试验地的木薯茎增长(图1)和地上生物量的积累量(表3)影响明显。随钾肥施用量的增加,木薯的茎长度也逐渐的增加,显著差异发生的相当晚,当钾肥的施用量较大,为最大的120、180 kg K_2O 时,茎长达到最高。因此,在没有任何施钾肥的情况下,茎长在所有处理中是最小的,尤其是在接近木薯收获的时候表现的更明显。农民的常规施肥处理中木薯的株高同施钾肥处理之间没有显著差异。

木薯茎增长的动态表明,在一个生长季里木薯对施用钾肥产生明显反应较晚,不同的种植地和品种表现都不一样。在Sukadana,可以观察到木薯对施用钾肥的明显反应不会早于播种后90天,而在Rumbia,观察到这种木薯对施钾肥反应要推迟到播种后180天。

施钾肥会明显增加木薯的地上部干重(表3)。在这两处试验地,相比于不施钾肥处理,当钾肥施用量为30 kg $K_2O ha^{-1}$ 时,木薯的地上部干重增加了21%-23%,当钾肥施用量为60 kg $K_2O ha^{-1}$ 时,木薯的地上部干重进一步增加,为47%-50%。继续增加钾肥的施用量超过60 kg $K_2O ha^{-1}$,木薯的地上部干重也增加,但是差异不显著。两处试验地的农民习惯性施肥处理中木薯地上部干重与施钾量为30 kg $K_2O ha^{-1}$ 的处理相似,比不施钾肥的地上部干重稍高一点。

在收获时,茎的干重在地上部干重中占主导地位,这两处的试验都表现出相似的规律(表3)。收获时植株上剩余的植物叶片数约占整个生长季叶片数总数的15%。因此,收获时叶片的生物量不能作为施钾对于重积累量影响的指标。总之,在Rumbia试验地,收获时树叶的干重为

Table 1. Soil properties of the experimental sites at Sukadana and Rumbia.

	Sukadana - East Lampung		Rumbia - Central Lampung	
	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
Sand (%)	40	61	81	79
Silt (%)	26	39	8	3
Clay (%)	34	0	11	18
Texture class	Clay loam	Silty loam	Loamy sand	Sandy loam
pH-H ₂ O (1:2.5)	4.5	4.7	5.1	4.9
pH-KCl (1:2.5)	3.9	4.1	4.2	4.2
C-organic (%)	0.95	0.72	1.18	0.79
P (Bray 1) (ppm P_2O_5)	27.8	8.45	49.2	11.4
Exch-K (meq 100 g^{-1})	0.05	0.09	0.07	0.12
Exch-Ca (meq 100 g^{-1})	0.36	0.54	0.75	0.48
Exch-Mg (meq 100 g^{-1})	0.20	0.30	0.28	0.20

Table 2. Effect of K fertilization on K availability in the top soil layer (0-20 cm) at harvest. Lampung, 2012-2013.

Treatment	Fertilizer treatment			Exchangeable K	
	N	P_2O_5	K_2O	Sukadana	Rumbia
	-----kg ha^{-1} -----			-----meq 100 g^{-1} -----	
T ₁	Farmer ⁽¹⁾	Farmer	Farmer	0.07	0.06
T ₂	135	36	0	0.06	0.04
T ₃	135	36	30	0.06	0.04
T ₄	135	36	60	0.08	0.06
T ₅	135	36	90	0.07	0.05
T ₆	135	36	120	0.08	0.06
T ₇	200	60	180	0.08	0.07

Note: ⁽¹⁾ Farmers' fertilization practices are detailed in the Materials and methods section.

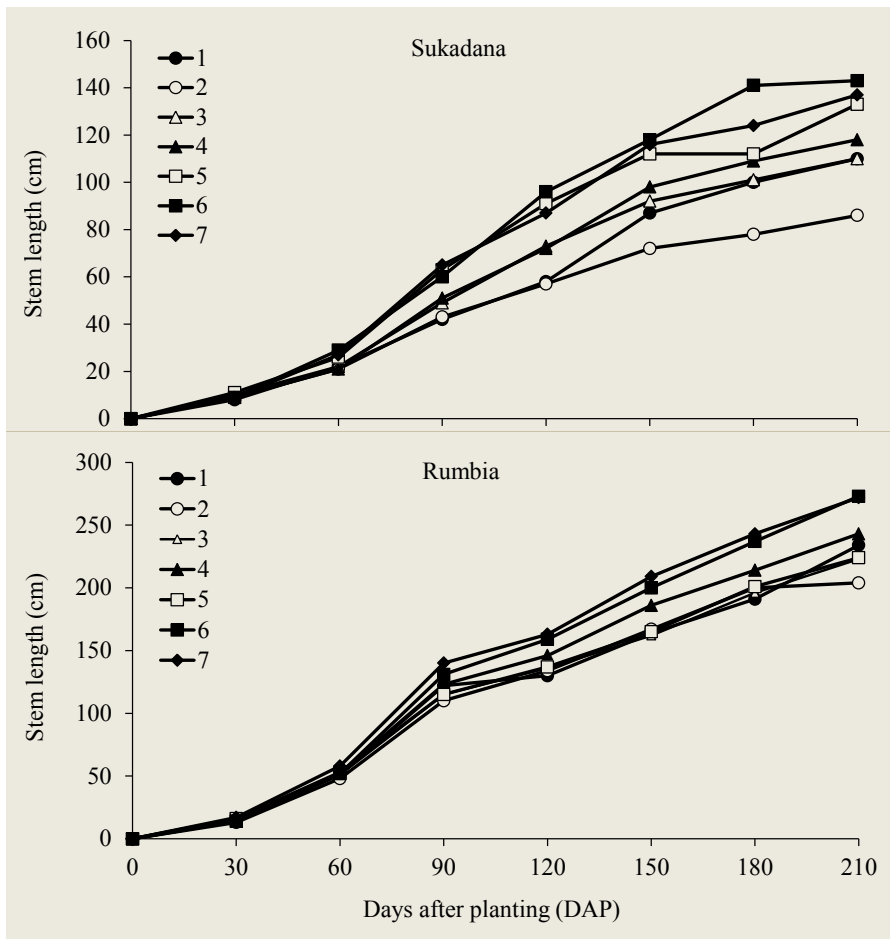


Fig. 1. Effect of K fertilization on cassava stem growth at Sukadana (cv. UJ3), and at Rumbia (cv. UJ5) during 2012-2013 cropping season (treatment codes as in Table 2).

30天后的木薯叶片上没有发现缺素症。缺素症在木薯播种60天后开始出现, 没有施钾肥处理的木薯叶片比施用钾肥处理的叶片小, 但是没有进一步的症状表现。从播种90天后直到收获, 没有施用钾肥处理的木薯叶片小 (数据未显示), 在叶片边缘表现出典型萎黄病症状。

施肥对组织器官中钾和淀粉含量的影响

在这两个试验地, 收获时叶片中的含钾量与该生长季的钾肥施用量显著相关 (图2, 表4)。当钾肥的施用量为0或低剂量时, 叶片含钾量占叶片干物质的1%, 当钾肥的施用量最高时, 叶片含钾量占叶片干物质的2.4%。茎的含钾量也与钾肥施用量相关, 但相关性较小, 含钾量占干物质的0.4%-0.9% (表4, 图2)。收获时块茎中的钾含量更小, 含钾量占干物质的0.2%-0.4%, 当钾肥的施用量为90-120 kg K₂O ha⁻¹时, 块茎中的含钾量与钾肥施用量相关, 当钾肥的施用量超过120 kg K₂O ha⁻¹时, 块茎中的含钾量反而降低 (图2)。农民习惯施肥处理中木薯叶、茎和块茎的含钾量相当于施用高量钾肥的处理 (图2)。在叶片和茎以及叶片和块茎之间的钾含量存在一些相关性 (表4)。

钾肥施用对收获时块茎中的淀粉含量没有带来任何明显的影响 (图2, 表4)。不考虑不施钾肥的处理, 在Sukadana试验地, 块茎中淀粉的含量占块茎鲜重的25%-28%, 而在Rumbia试验地, 块茎中淀粉的含量占块茎鲜重的31%-34%。木薯地上组织器官中钾的含量和块茎中的淀粉含量无显著相关性 (表4)。

块茎 (存储根) 产量

两个试验地, 不施用钾肥处理的木薯块茎的鲜重和干重明显较低 (表5)。在Sukadana试验地, 当钾肥的施用量为60 kg K₂O ha⁻¹时, 块茎产量最高, 比不施钾肥处理的块

Table 3. Effects of K fertilization on above ground dry biomass of cassava at Sukadana and Rumbia. Lampung, 2012-2013.

Treatment	Fertilizer treatment			Dry weight			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Sukadana East Lampung		Rumbia Central Lampung	
				Stem	Shoot	Stem	Shoot
T ₁	Farmer ⁽¹⁾	Farmer	Farmer	1.7 bc ⁽²⁾	2.1 bc	5.5 bc	6.1 bc
T ₂	135	36	0	1.3 c	1.7 c	4.2 c	4.8 c
T ₃	135	36	30	1.6 bc	2.1 bc	5.2 bc	5.8 bc
T ₄	135	36	60	2.1 ab	2.5 ab	6.6 ab	7.2 ab
T ₅	135	36	90	2.7 a	3.2 a	5.4 bc	6.1 bc
T ₆	135	36	120	2.8 a	3.2 a	6.7 ab	7.4 ab
T ₇	200	60	180	2.5 a	2.9 a	8.2 a	8.9 a

Notes: ⁽¹⁾Farmers' fertilization practices are detailed in the Materials and methods section.

⁽²⁾Different letters in a column indicate significant differences at P < 0.05.

0.4-0.5 t ha⁻¹, 在Sukadana试验地, 收获时树叶的干重为0.6-0.8 t ha⁻¹, 不同

施肥处理之间没有显著差异。

两个试验地的所有处理, 在播种

茎产量高出47%，进一步增加钾肥的施用量未能显著提高木薯块茎的产量。在Rumbia试验地，当钾肥的施用量较高，为90 kg K₂O ha⁻¹时，生产的木薯块茎鲜重最高，当钾肥的施用量为120 kg K₂O ha⁻¹时，生产的木薯块茎干重最高，分别比不施钾肥处理的高15%和25%，进一步增加钾肥施用量并没有带来任何好处。在这两个试验地，农民的常规施肥处理木薯块茎产量与施用中等剂量钾肥的处理相当，即钾肥的施用量为30 kg K₂O ha⁻¹和30-60 kg K₂O ha⁻¹时，Sukadana 和 Rumbia两试验地木薯块茎的干重分别比不施钾肥的处理的高25%和19%（表5）。Sukadana和Rumbia两试验地的收获指数分别为0.8和0.7，不受钾肥施用的影响。

农学效率和经济效益

在Sukadana试验地，当钾肥的施用量为60 kg K₂O ha⁻¹时，钾肥施用的农学效率最高，为207 kg FTY kg⁻¹ K₂O，随钾肥施用量继续增加而慢慢降低。在Rumbia试验地，农学效率

的峰值要小得多，当钾肥的施用量为30 kg K₂O ha⁻¹时，钾肥施用的农学效率最高，为83 kg FTY kg⁻¹ K₂O，随钾肥施用量继续增加而降低。在Sukadana试验地，纯收益表现出最佳曲线，当钾肥的施用量为60-90 kg K₂O ha⁻¹时，

Table 4. Coefficients of linear correlations between seasonal K dose and cassava leaf, stem, and tuber K contents, and tuber starch content at harvest, in Sukadana and Rumbia, 2012-2013.

Experiment site	Variables	K ₂ O dose	K leaf	K stem	K tuber	Starch
Sukadana	K ₂ O dose (kg ha ⁻¹)	1.00	-	-	-	-
	K leaf (%)	0.95**	1.00	-	-	-
	K stem (%)	0.67*	0.60*	1.00	-	-
	K tuber (%)	0.74*	0.65*	0.23	1.00	-
	Starch (%)	0.53	0.61	0.09	0.38	1.00
Rumbia	K ₂ O dose (kg ha ⁻¹)	1.00	-	-	-	-
	K leaf (%)	0.71*	1.00	-	-	-
	K stem (%)	0.85*	0.84**	1.00	-	-
	K tuber (%)	0.86**	0.68*	0.78**	1.00	-
	Starch (%)	-0.01	0.40	0.32	0.04	1.00

Note: n=10; * and ** indicate statistical significance at 5% and 1% levels.

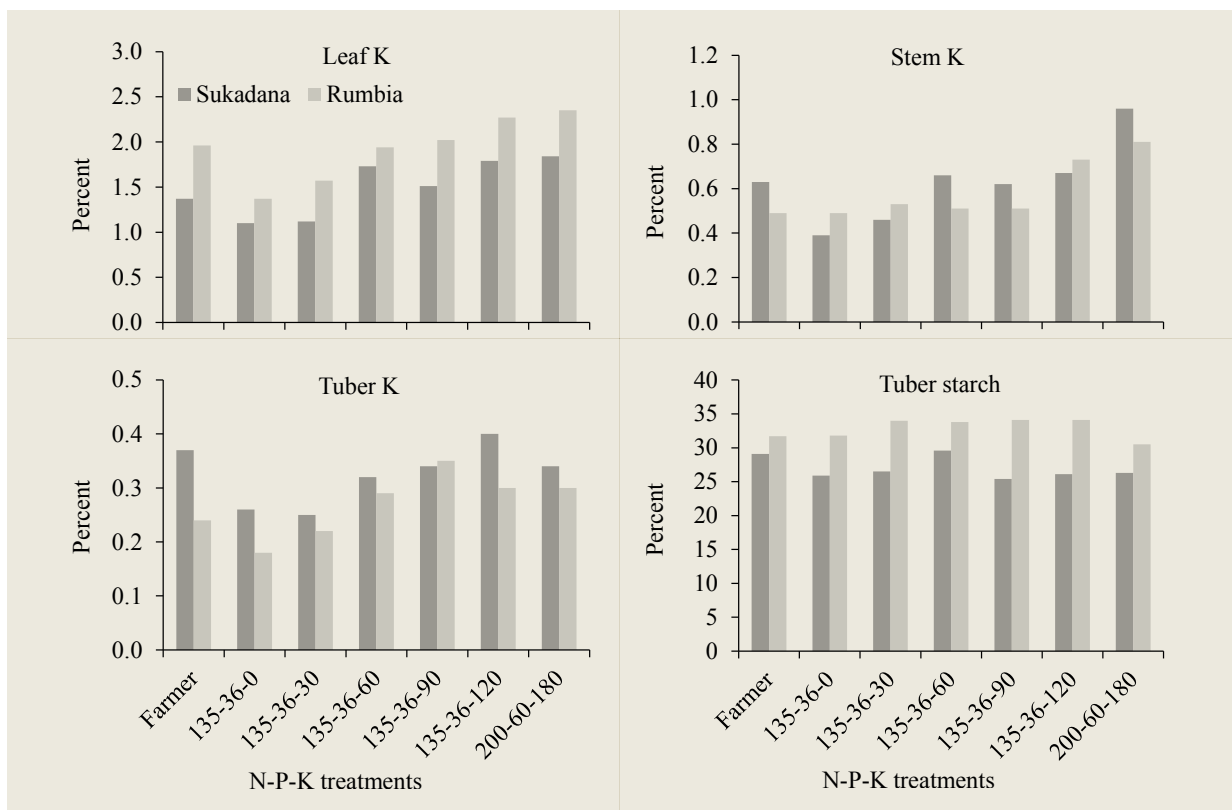


Fig. 2. Fertilization effect on cassava leaf, stem, and tuber K content (% of dry matter), and tuber starch content (% of fresh weight) at harvest, in Sukadana and Rumbia, 2012-2013.

最大纯收益为33·10⁶印尼卢比 (IDR)，然后随钾肥施用量的增加，纯收益急剧下降 (图3)。在Rumbia试验地，最初的 (没有施用肥处理) 纯收益较高，随钾肥施用量的增加，纯收益慢慢地增加，直到钾肥的施用量为120 kg K₂O ha⁻¹时，纯收益达到最高，为28·10⁶印尼卢比 (IDR)。

讨论

砂质土壤，就如本试验的两处试验地的土壤，通常适宜块茎作物如木薯的栽培。当土壤中也包含相当一部分粘土时 (表1)，阳离子交换量 (CEC) 没有像预想的那样大大限制作物的生长。然而，在这两个试验地，土壤呈酸性，甚至是强酸性，此外，有机质 (OM) 非常贫乏。高含量的

砂土，低的土壤pH，贫乏的有机质含量以及频繁的降雨 (在木薯的一个生长季降雨量约为1800毫米) 和重复的土地开发带来了极低的阳离子交换量，尤其是交换性钾的含量很低 (表1)，远低于Howeler的土壤临界阈值 (Howeler, 2002)。因此，钾的有效性被假定为可能是该地区的木薯种植的主要限制因素。大多数木薯种植户施用很少的钾肥，对他们现场展示施用钾肥会给木薯产量的带来有益效果是必需的。

在这两个试验地，发生在植物特性和FTY之间的一些差异可以归因于栽培品种的明显差异，而不是土壤属性之间的轻微差异。Sukadana的农民倾向于选择UJ3品种 (也叫“泰国”)，而Rumbia农民更倾向于UJ5品种 (‘Kasetsart’)。UJ3品种生长更快，产生较高的FTY，获得高于UJ5的收获指数 (分别为0.8和0.7)。

相比之下，UJ5块茎表现为干物质含量 (淀粉) 较高，为44%，而UJ3品种仅为36%，因此，它的售卖价格要高于UJ3品种 (在2013的生长季里，UJ5和UJ3品种的价格分别为910、880印尼卢比IDR)。因此，鉴于这些本质的差异，本研究的讨论将集中在钾肥施用与环境条件等一些主要方面。

事实上，钾肥的施用极大地推动了植物生长 (图1，表3)，提高了FTY (表5)。两个试验地土壤钾的有效性最初都非常低，因此毫无疑问，无论施用任何用量的钾肥都会改善木薯的生长，如文中所提到的株高、茎及地上部物质的干重。显然，可以做出施用钾肥的响应曲线，确定楠榜地区木薯一个生长季最优钾肥施用量为60-90 kg K₂O ha⁻¹ K₂O (表5;图3)。然而，一些证据表明施用钾肥及其他提高木薯生产措施的潜力在该地区是相当高的。

本研究中获得的最大的木薯产量是30-40 t ha⁻¹。这个产量处于之前所报道的各种土壤条件和施肥制度下木薯的产量范围的中上等 (Wargiono *et al.*, 2006)。然而，之前Taufiq *et al.*, 2009报道的更高的收益

Table 5. Effects of K fertilization on fresh tuber yield (FTY) and dry tube yield (DTY) of cassava crop at Sukadana and Rumbia sites, Lampung, 2012-2013.

Treatment	Fertilizer treatment			Tuber yield			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Sukadana (cv. UJ3)		Rumbia (cv. UJ5)	
				FTY	DTY	FTY	DTY
	-----kg ha ⁻¹ -----			-----Mg ha ⁻¹ -----			
T ₁	Farmer ⁽¹⁾	Farmer	Farmer	31.3 b ⁽²⁾	9.4 abc	30.9 a	13.9 ab
T ₂	135	36	0	26.1 c	7.5 c	27.9 b	11.7 c
T ₃	135	36	30	31.4 bc	8.6 bc	30.4 ab	13.3 b
T ₄	135	36	60	38.5 a	11.1 a	30.3 ab	13.5 ab
T ₅	135	36	90	37.8 a	10.4 ab	31.6 a	14.0 ab
T ₆	135	36	120	35.0 ab	10.6 ab	32.1 a	14.6 a
T ₇	200	60	180	36.5 ab	9.5 abc	32.7 b	14.7 a

Notes: ⁽¹⁾Farmers' fertilization practices are detailed in the Materials and methods section. ⁽²⁾Different letters in a column indicate significant differences at P <0.05.

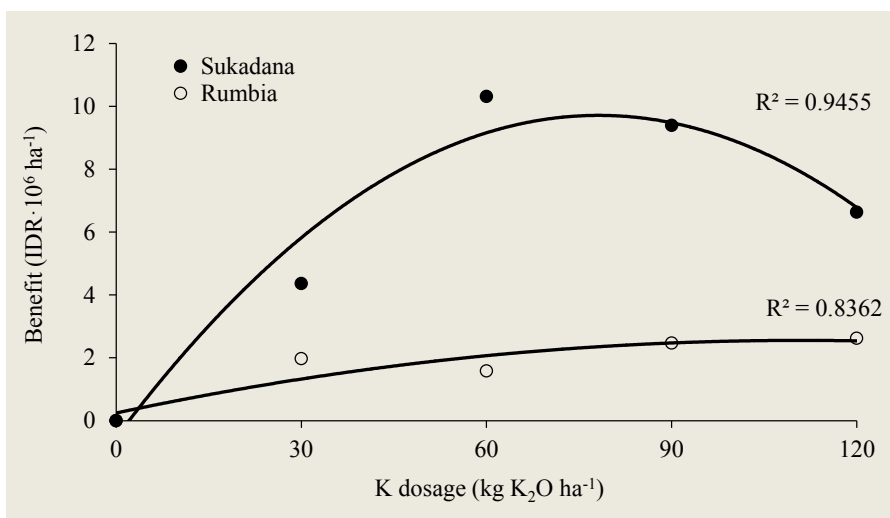


Fig. 3. Effect of K fertilization dose on the net return from cassava at Sukadana and Rumbia, Lampung, Indonesia, 2012-2013.

率可能指向还有相当高的潜力。实际生产中什么样的措施可以用来实现这种潜力呢？

在当前的研究中，关于土壤中钾的含量，木薯收获时与木薯播种时相比变化不大，即使是钾肥的施用量最大的处理也是如此（表2），这表明了肥料的短期效果。最早是在木薯播种后15天，施肥一次会对作物生长和组织器官中钾的含量产生明显影响（图2），即使在收获时，研究表明植物还会吸收一些施用的营养物质。钾在植物体内极易移动，根据糖易位需求和淀粉积累在组织器官之间的重新分配（Marschner, 1995）。也可以这样假设，无论以何种方式，大部分施加的钾肥在施用后不久从作物根系是淋失掉，这经常发生在土壤CEC少且降水量高的地区（Lambin and Meyfroidt, 2010）。根据当地农民的习惯施肥，农民施肥较晚，一般在播种30天后施用，此时植物的须根已经扎入土壤并开始吸收养分了（Alves, 2002）。这些做法导致了习惯施肥方法获得木薯产量与中等施钾量处理的相似。可以得出的结论是施用钾肥应该晚一点，至少应该晚于播种后的15天，此外，应考虑随作物的生长季分配各次的施肥量，施用次数应该频繁一点。

有机质的贫瘠通常与土壤颗粒松散，随之发生的土壤侵蚀以及低的CEC联系在一起（Don *et al.*, 2010; Prabowo and Nelson, 2015）。木薯收获后的习惯做法是把植株残体移除田块，这种做法虽然是从控制植物病害方面考虑，但是却加速土壤退化的进程。在木薯种植过程中，施用有机肥料已被证明可以导致植物吸收更多的营养，提高块茎产量，减少土壤养分的消耗（Amanullah *et al.*, 2007）。沿木薯种植行直接条施有机堆肥、补充性肥料及土壤改良剂（如施用石膏降低土壤酸度）会使根系扩展到新的肥沃的土壤空间，从而提高作物对养分的吸收，促进作物生长。如果在很长一段时期内重复这种施肥方式将会恢复土壤属性。

总之，在CEC含量低的酸性土壤上施用钾肥会对木薯作物生长带来明显的有利影响。当然，对产量的提高还有相当大的潜力。提高土壤肥力将会实现木薯生产的潜力。

参考文献

- Alves, A.A.C. 2002. Cassava Botany and Physiology. *In: Hillocks, R.J., J.M. Thresh, and A.C. Bellotti (eds.). Cassava: Biology, Production and Utilization.* CABI Publishing, New York. p. 67-89.
- Amanullah, M.M., K. Vaiyapuri, K. Sathyamoorthi, S. Pazhanivelan, and A. Alagesan. 2007. Nutrient Uptake, Tuber Yield of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and Soil Fertility as Influenced by Organic Manures. *J. Agron.* 6(1):183-187.
- BPS, Statistik Indonesia (Statistic of Indonesia). <http://www.bps.go.id/>.
- Don, A., J. Schumacher, and A. Freibauer. 2010. Impact of Tropical Land Use Change on Soil Organic Carbon Stocks - A Meta-Analysis. *Global Change Biology* 2010, 17:1658-1670.
- El-Sharkawy, M.A., and L.F. Cadavid. 2000. Genetic Variation Within Cassava Germplasm in Response to Potassium. *Expl. Agric.* 36:323-334.
- Eviati dan Sulaeman. 2009. Analisa kimia tanah, tanaman, air dan pupuk (Chemical Analysis of Soil, Plant, Water and Fertilizer). Edisi ke-2. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. 246 p. (In Indonesia).
- FAO. 2005. Fertilizer Use by Crop in Indonesia. First version. FAO, Rome. 62 p.
- Howeler, R.H. 1981. Mineral Nutrition and Fertilization of Cassava. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia. 52 p.
- Howeler, R. 2002. Cassava Mineral Nutrition and Fertilization. *In: Hillocks, R.J., J.M. Tresh, and A. Bellotti (eds.). Cassava: Biology, Production and Utilization.* Natural Resources Institute, University of Greenwich, U.K. Centro Internacional de Agricultura Tropical, (CIAT), Cali, Colombia. p. 115-147.
- Ispandi, A., and A. Munip. 2005. Efektifitas pengapuran terhadap serapan hara dan produksi beberapa klon ubikayu di lahan kering masam (The Effectiveness of Liming to Nutrient Uptake and Yield of Cassava Clones on Acidic Dryland). *Ilmu Pertanian* 12(2):125-139.
- Lambin, E.F., and P. Meyfroidt. 2010. Land Use Transitions: Socio-Ecological Feedback Versus Socio-Economic Change. *Land Use Policy* 27:108-118.
- Maduakor, H.O. 1997. Effect of Land Preparation Method and Potassium Application on the Growth and Storage Root Yield of Cassava in an Acid Ultisol. *Soil and Tillage Research* 41:149-156.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, New York.
- Nelson-Somogyi, S., B. Sudarmadji, Haryono, dan Suhardi. 1997. Prosedur Analisa untuk Bahan Makanan dan Pertanian (Procedure Analysis for Food Material and Agriculture). Liberty, Yogyakarta. p. 34-35 and 39-40. (In Indonesia).
- Nguyen, H., J.J. Schoenau, Dang Nguyen, K. Van Rees, and M. Boehm. 2002. Effects of Long-Term Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Fertilization on Cassava Yield and Plant Nutrient Composition in North Vietnam. *J. Plant Nutr.* 25(3):425-442.
- Nugroho, I., and N. Hanani. 2007. Studi Investasi untuk Pengembangan Komoditi Pertanian di Propinsi Lampung: Pendekatan input-output (Investment Study for Agriculture Commodity Development in Lampung Province: Input-Output Approach). *J. Ekonomi* 12(1):32-39.

- Prabowo, N.E., and P.N. Nelson. 2015. Potassium and Magnesium Retention and Losses, as Affected by Soil and other Site Factors. *In*: Webb, M.J., P.N. Nelson, C. Bessou, J.-P. Caliman, and E.S. Sutarta (eds.). Sustainable Management of Soil in Oil Palm Plantings. Proceedings of a workshop held in Medan, Indonesia, 7-8 November 2013. ACIAR Proceedings No. 144. Australian Centre for International Agricultural Research: Canberra. p. 27.
- Putthacharoen, S., R.H. Howler, S. Jantawat, and V. Vichukit. 1998. Nutrient Uptake and Soil Erosion Losses in Cassava and Six other Crops in a Psamment in Eastern Thailand. *Field Crops Res.* 57:113-126
- Suryana, A. 2007. Kebijakan penelitian dan pengembangan ubi kayu untuk agroindustri dan ketahanan pangan (Research Policy of Cassava Development for Agroindustry and Food Security). Hlm. 1-19. Dalam Harnowo, D., Subandi, dan N. Saleh (Peny.). *Prospek, Strategi, dan Teknologi Pengembangan Ubi kayu untuk Agroindustri dan Ketahanan Pangan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor. 98 hlm.
- Suyamto, H. 1998. Potassium Increased Cassava Yield on Alfisol Soils. *Better Crops International* 12(2):12-13.
- Taufiq, A., A.A. Rahmianna, and W. Unjoyo. 2009. Uji efektivitas pupuk NPK Kujang formula 14-6-23 untuk tanaman ubikayu (Evaluation of Effectiveness of NPK Kujang 14-6-23 for Cassava). Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian, Malang (Project report).
- Wargiono, J., A. Hasanuddin, dan Suyamto. 2006. *Teknologi Produksi Ubi kayu Mendukung Industri Bioetanol (Production Technology of Cassava for Bioethanol Industry Support)*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor. 42 hlm.

论文“在印度尼西亚酸性旱地上施用钾肥对木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 的影响”一文可以在国际钾肥研究所的官方网站上浏览下载：[区域活动/东南亚](#)