

研究论文



巴西巴伊亚州西部塞拉多地区的雨养农业：免耕农作系统。照片拍摄：T. Wiendl.

巴西巴伊亚州西部中等质地的土壤上钾肥的施用方法

Wiendl, T.A.⁽¹⁾, and I. Döwich⁽²⁾

摘要

近几十年来，巴西大田作物产业已扩大到塞拉多地区贫瘠的砂质氧化土上。除了施用大量的石灰和磷 (P) 以外，对钾 (K) 的需求难以满足。这个长期研究 (2005/06-2014/15) 的目的，是评估适用于大豆-玉米轮作免耕系统下钾肥的施用方法、时间和用量，并建立巴伊亚州西部轻质土上施钾的新标准。这里共享的数据结果，指的是2014/15年收获的大豆作物的数据。整整9年各试验小区对应的施肥处理保持不变，试验包括8个处理，分别为：不施肥对照、磷肥对照、基施低施用量钾肥、农民习惯施肥

(N-P-K, 2-15-20)、基施高施用量钾肥、表施高施用量钾肥、分次施高施用量钾肥、农民习惯施肥+额外表施钾肥，其对应的年度钾肥施用量分别为0、0、60、83、120、120、120、203 kg K₂O ha⁻¹。除了不施肥对照，所有处理基施磷肥的量为 62.3 (农民习惯施肥) 或96 kg P₂O₅ ha⁻¹。对照处

⁽¹⁾ Wiendl Assessoria Agronomica Ltda. Travessa Antonio Pedro Pardi, 110, CEP 13418-575, Piracicaba, SP, Brazil (toni@wiendlagronomica.com)

⁽²⁾ APDC – Associação de Plantio Direto no Cerrado, Luis Eduardo Magalhães, BA, Brazil (ingbert@ig.com.br)

注：国际钾肥研究所 (IPI) 感谢Embrapa Solos对巴西这个项目的大力支持。

理的大豆产量为750~900 kg ha⁻¹, 而施钾处理的产量为3300~3650 kg ha⁻¹, 钾肥施肥制度或者施用量之间没有显著产量差异。结果显示, 钾肥供应对可持续大豆生产是至关重要的, 因为贫瘠的砂质氧化土无法满足大豆对钾的需求。仅依靠秸秆还田不能满足高产作物对钾素的需求。基施、表施或分2次施用高施肥量的钾肥, 钾的吸收保持不变, 为60~70 kg K₂O ha⁻¹, 而所施钾的回收率小于40~45 kg K₂O ha⁻¹, 剩余的钾被浪费掉了。建议考虑分次施用钾肥, 高施肥量钾肥施用, 土壤pH, OM和K₂O的含量会变高, Al+H会变低。

引言

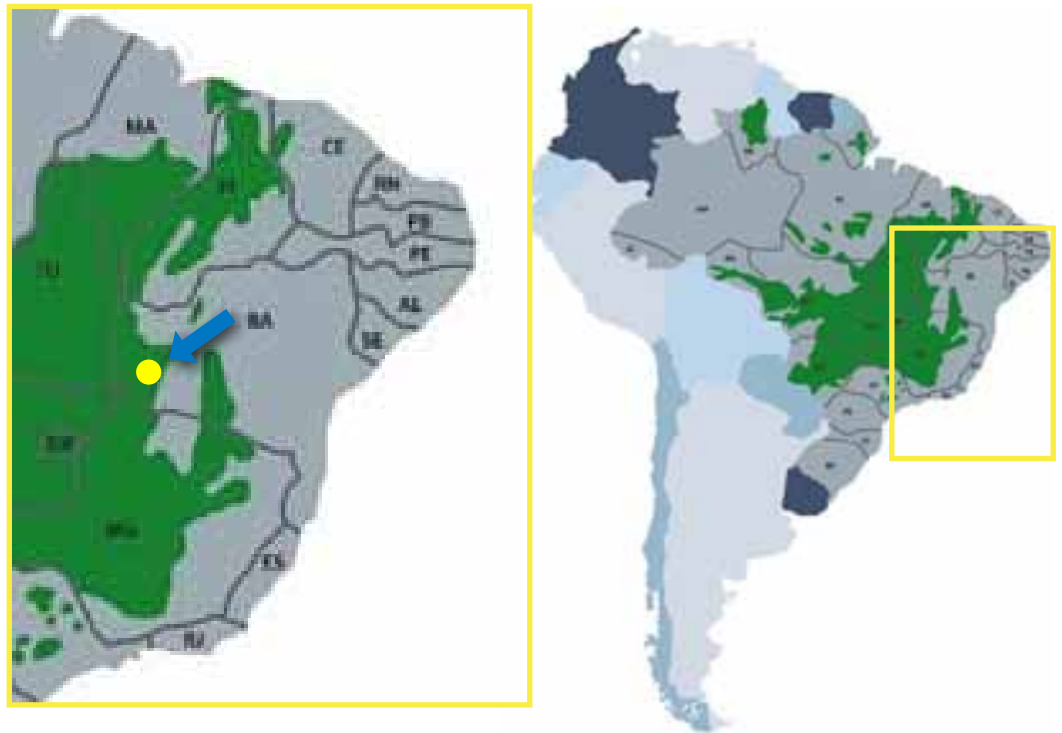
巴西的大田作物产业不断发展。在巴西, 玉米 (*Zea mays*) 和大豆 (*Glycine max* (L.) Merr.) 轮作非常常见, 具有重要的经济意义。在最近的几十年里, 塞拉多地区贫瘠砂质土壤影响了玉米和大豆产量的进一步提高。塞拉多地区大多数土壤是高度风化的土壤, 由于其自然土壤肥力较低, 对作物生产呈现出严重的局限性。这些土壤是酸性的, 氮 (N)、磷 (P)、钾 (K)、钙 (Ca)、镁 (Mg)、硫 (S)、硼 (B)、铜 (Cu)、钼 (Mo) 和锌 (Zn) 的有效性低。这样的土壤也含有高度饱和的铝 (Al), 这使得它们对大多数农作物有毒 (Lopes *et al.*, 2012)。氧化土 (Latossolo Amarelo) 和典型的砂土 (Neossolo Quartzarenico) 是塞拉多地区巴伊亚州西部农业区主要的土壤, 其典型的特点是肥力及有机质含量低 (Silva *et al.*, 1994)。

在巴西, 已经越来越多地在砂性和壤性土壤上开始实行大豆、玉米和棉花集约种植制度。这些生产系统的一个主要挑战是建立高效的肥料管理。由于钾素在玉米和大豆产量上的重要作用 (Pettigrew, 2008), 及其在土壤剖面中相互作用和移动性, 因此尤其需要特别关注。在巴西农业中氯化钾是最常见的钾

肥, 在塞拉多土壤中具有高度可溶性和移动性。因此, 钾从作物根际快速淋溶并随之损失掉的风险非常高。通常认为这些土壤上的中耕作物播种时基施的氮磷钾复合配方肥的钾素容易损失掉。施用的氮磷钾肥料最常见的配方有20-20-18 (50%)、08-20-18 (19%)、02-23-10 (12%) (COMIGO, 2007)。这些复合肥料通常直接施用到犁沟中, 在发芽的种子和幼小的植株附近形成了一个暂时的且离子浓度极高的环境。这种做法可能会导致一些不良的过程, 随后限制作物的生长发育及产量: 1) 在作物生长时发生氯 (Cl⁻) 中毒, 危及植物的初始营养阶段 (Moraes and Menezes, 2003); 2) 抑制根系的扩张, 随之根系在土壤剖面吸收养分的能力削弱 (Roder *et al.*, 1989); 3) 导致土壤吸附复合体中的不平衡的阳离子比率 (K/Ca和K/Mg) (Muñoz-Hernandez and Silveira, 1998)。

钾营养的另一个方面是低估了免耕土壤上钾的有效性。前季作物还田的秸秆中可能含有包括钾在内的大量的营养物质, 在第一次降雨时营养物质可迅速释放到土壤中 (Rosolem *et al.*, 2003; Benites *et al.*, 2010)。因为秸秆中钾的含量常常被忽略, 所以推荐施肥中钾素可能经常被高估了。

这个长期研究 (2005/06-2014/15) 旨在评估适用于大豆-玉米轮作免耕系统下钾肥的施用方法、施用时间和施



地图1. 南美和巴西塞拉多地区 (图中绿色部分)。试验地靠近巴伊亚州西部的Luis Eduardo Magalhães市 (图中黄色原点部分)。资料来源: 改编自Lopes and Guilherme。巴西塞拉多地区面积有204万平方公里, 占巴西国土面积的23%。

肥量,并据此建立巴伊亚州西部轻质土上施钾的新标准。本文数据结果指的是2014/15年收获的大豆作物的数据。

材料与方 法

试验于2005/06-2014/15在位于巴西巴伊亚州西部路易斯·爱德华多Magalhaes市阿尔沃拉达农场进行(图1)。气候为Aw(Köppen分类),年平均气温和降雨量分别为24℃和1200 mm。这里有两个轮廓分明的季

节,即11月至来年3月为雨季,降雨量占年总降雨量的94%,而4月到9月为旱季。

试验区的土壤为典型的氧化土(Latossolo Amarelo),0~25 cm的土壤为砂质壤土,再深的土壤逐渐转为砂质粘壤土(表1a)。土壤酸度一般较高,25 cm以下的土壤酸度增加明显(表1b)。Ap层以下,大多数土壤肥力参数,如阳离子交换量(CEC)(表1b)以及有机质、N、P含量(表1c)随

土层的深度的加大而大幅下降。事实上,B层的原生土壤似乎过于坚实,贫瘠和酸性不利于植物根系的生长。该地区的种植制度为一年两季的大豆和玉米轮作。

试验于2005/06大豆的生长季开始,随后是与之轮作的玉米生长季。试验包括8个处理,即施肥方法不同,在9年的试验中所有试验小区的施肥处理都保持不变。试验中包括2个对照处理,1个农民习惯施肥处理,

表1a.试验前土壤剖面Ap1-Bw3层土壤质地和土壤结构情况

剖面层次	深度	土壤机械组成(粒径大小, mm)					粘粒在水中扩散	絮凝	粉粘比
		石砾 20-2	粗砂 2-0.2	细砂 0.2-0.05	粉砂 0.05-0.002	粘粒 <0.002			
	-----cm-----	-----g kg ⁻¹ -----					-----%-----		
Ap1	0-5	0	422	398	60	120	80	33	0.5
Ap2	6-12	0	432	392	35	141	60	57	0.25
AB	12-25	0	422	382	35	161	120	25	0.22
Bw1	25-50	0	426	341	32	201	60	70	0.16
Bw2	50-65	0	386	322	51	241	0	100	0.21
Bw3	>65	0	372	318	69	241	0	100	0.29

表1b.试验前土壤剖面Ap1-Bw3层土壤酸度和土壤吸附性阳离子情况

Horiz.	pH(1:2.5)		Adsorptive complex							
	Water	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Base satur. (sum)	Al ³⁺	H ⁺	CEC
	-----cmolc kg ⁻¹ -----									
Ap1	6.3	5.3	1.7	1.0	0.13	0.01	2.8	0.1	2.2	5.1
Ap2	6.1	4.9	0.9	0.5	0.17	0.01	1.6	0.1	1.7	3.4
AB	6.1	4.8	0.6	0.5	0.05	0.01	1.2	0	1.8	3.0
Bw1	5.2	4.3	0.6		0.05	0.01	0.7	0.2	1.9	2.8
Bw2	4.7	4.3	0.4		0.02	0.01	0.4	0.3	2.0	2.7
Bw3	5.1	4.6	0.5		0.01	0.01	0.5	0.1	1.7	2.3

表1c.试验前土壤剖面中有机碳、N和P含量情况

Horiz.	Organic carbon	N	C/N	Available P
		-----g kg ⁻¹ -----		
Ap1	9.2	1.0	9	24
Ap2	4.9	0.5	10	9
AB	3.7	0.4	9	1
Bw1	3.3	0.4	8	1
Bw2	3.1	0.3	10	1
Bw3	3.2	0.3	11	1

4个不同钾肥施用量或施用时间的处理,1个农民习惯施肥+后期额外钾肥施用强化处理。各处理的详细施肥情况见表2。

试验设计包括2个试验区,每个试验区由8个250 m×18 m试验小区组成,每个小区即为1个试验处理。2014年就在上年玉米丰收后进行土壤采样。土壤采集时要注意采集每个试验小区的中间部分,以避免边界效应。从垂直于种植行深为2.75 m的土坑中采集土壤样本(照片1)。风干后的土样过2 mm的筛。根据Embrapa methodologies方法(1997)进行化学分析。

根据作物轮作,在2014/15种植大豆,试验后面轮作季。种植密度为32000株ha⁻¹,行间距0.50 m。在免耕制度下种子播种在3~4 cm深的犁沟底部。收获时,从每个试验小区中

部避免边界效应, 随机收割3 m× 5 m的大豆, 重复3次(照片2)。计算得到含水量为14%的籽粒产量。

钾利用效率(KUE)的定义是“施用单位数量的肥料养分所增加的粮食产量的数量”(Barber, 1976; Fageria and Baligar, 2001; Fageria and Baligar, 2005)。利用下面的公式来计算KUE:

$$KUE = (GY_F - GY_{NF}) / K_{DOSE}$$

在这里, KUE为钾利用效率(kg kg⁻¹);

GY_F为各处理的籽粒产量(kg ha⁻¹);

GY_{NF}为不施肥的对照处理的产量(kg ha⁻¹);

K_{DOSE}为钾的施用量(kg K₂O ha⁻¹)。

这个计算对处理Pr3-Pr8是有效的, 这几个施用不同施量钾肥的处理均与不施肥的对照处理有关。

统计分析包括方差分析大豆籽粒产量(5%)和T测试(p < 0.05)比较各处理之间的差异。所有统计分析均使用“Assistat”7.7 beta版本。

结论与讨论

遗传性及生理性的改进, 以及改进的灌溉方式带来了大豆产量的稳步增长, 大豆产量由1924年的不足500 kg ha⁻¹增长到20世纪末期8000 kg ha⁻¹ (Specht *et al.*, 1999; Grassini *et al.*, 2014; Koester *et al.*, 2014)。最近估计的大豆潜在产量为7000~11000 kg ha⁻¹ (van Roekel *et al.*, 2015)。这种潜力的显著特点是生理特征及环境因素影响大豆种子的数量和每粒种子的平均质量。然而, 大豆潜在产量的实现, 很大程度上取决于当地经常的生态条件和农艺操作。因此, 2015年美国大豆的平均产量约为3200 kg ha⁻¹, 远低于估计的潜在产量 (Indexmundi, 2015)。巴西是世界上的第二大大豆生产国, 平均产量为3000 kg ha⁻¹, 土壤肥力似乎是限制大豆产量进一步增加的主要因素。

在目前的研究中, 经过9年试验后进行土壤分析表明, 不施肥对照处理(Pr1)的矿物含量及其他评估特征与其他处理的没有明显的区别(表3)。这一发现可能表明, 土壤提供给农作物的营养支持非常贫乏, 因为不施肥的对照处理所获得的产量远低于那些施肥处理的(图1)。



照片1.采样沟。照片拍摄: 作者



照片2.处理Pr1大豆收获场景。照片拍摄: 作者

表2. 2005/06-2014/15长期试验8个施肥处理的详细描述。处理顺序号按照施钾量和施肥时间排列。

Treatment	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Commercial fertilizer	Time of application	Notes
Pr1	0	0	0			Non-fertilized control
Pr2	0	96	0	SSP 300 STP 100	P - basal	P fertilized control
Pr3	0	96	60	SSP 300 STP 100 KCl 100	P - basal K - top dressing	Low K dose
Pr4	8.3	62.3	83	2-15-20, 415	Basal	Farmers' practice
Pr5	0	96	120	SSP 300 STP 100 KCl 200	P - basal K - basal	High, basal K dose
Pr6	0	96	120	SSP 300 STP 100 KCl 200	P - basal K - top dressing	High, late K dose
Pr7	0	96	120	SSP 300 STP 100 KCl 200	P - basal K - 50% basal, and 50% top dressing	Split K dose
Pr8	8.3	62.3	203	2-15-20, 415 KCl 100	Basal K - top dressing	Farmers' practice and additional K

Note: SSP: single super phosphate; STP: super triple phosphate; 2-15-20: a composite fertilizer comprising of N-P-K (%).

在不施肥的情况下, 贫瘠的种植制度与土壤风化速度保持一定的最低余额, 所以即使9年后过度开发的症状不会发生。相似的, 施用高施肥量肥料的处理生产出显著较高的粮食产量(图1、相片3), 表明获得作物产量需要依赖于肥料供应。不同施肥制度对土壤肥力参数的影响是明确的(表3)。然而, 可以观察到几个趋势。几个施用高施肥量钾肥的处理(Pr5-Pr8)及分次施用钾肥的处理(Pr7)似乎能更好的保持土壤肥力, pH及有机质(OM)、K、Ca的含量最高(表3a)。且产生Al毒性的风险, 由H+Al值表示(表3b), 是最低的。相反, 仅仅施用高施肥量的钾会增加土壤酸度, 减少OM和Ca的含量, 降低盐基饱和度, 产生铝毒的风险增加。这些现象不会在低施肥量钾的处理(Pr3)中观察到。

有趣的是单独施用磷肥对大豆籽粒产量没有任何重大影响(图1)。相反, 任何钾肥施用处理与对照处理(Pr1和Pr2)相比, 会大量增产。此外, 低钾施肥量(60 kg K₂O ha⁻¹)下获得的大豆产量非常可观, 比对照处理增产337%, 而钾肥施用量翻倍后, 对大豆产量的影响却小得多。

图2A为随钾肥施肥量的变化而对大豆产量的影响。结果表明, 当钾的施肥量为60~213 kg K₂O ha⁻¹时, 钾的边际粮食生产极度可怜, 为2.56 kg kg⁻¹。钾肥施肥量对产量的贡献, 无论重大与否, 并不能证明这个施肥量范围钾投入的是否合适。此外, 当钾的施肥量超过60 kg K₂O ha⁻¹, 根据图2B的幂函数可以看出KUE下降, 这也表明当前的研

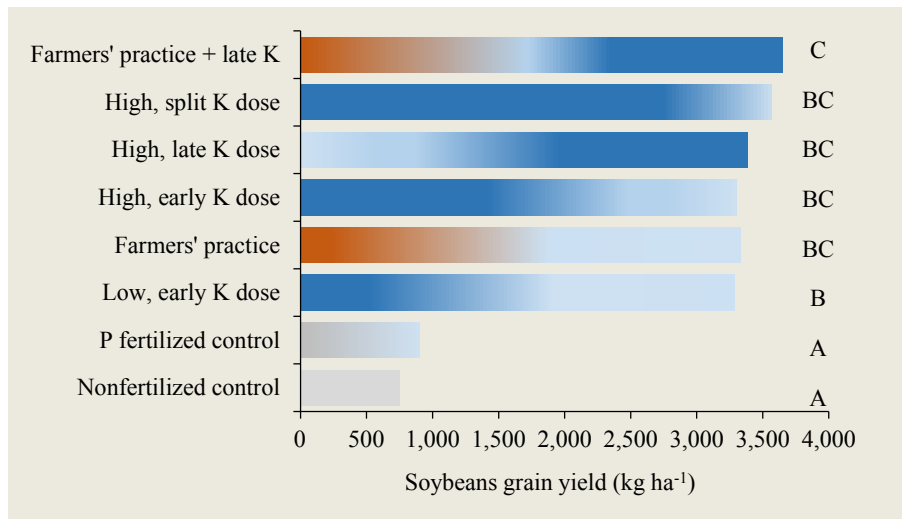


图1. 不同施肥制度下2014/2015收获季的大豆籽粒产量。不同英文字母表示T检验p<5%条件下差异显著。



照片3. 处理Pr5 (96 kg P₂O₅ and basal 120 kg K₂O) (左) 和处理Pr2 (96 kg P₂O₅) (右)。照片拍摄: 作者

表3a. 试验开始施肥处理后的8年测试0-20cm土壤性质: pH、OM、微量元素、CEC和盐基饱和度

Treatment	pH	OM	P	K	Ca	Mg	CEC	S	Base Satur.
		%	-----g m ⁻³ -----			-----cmol _c L ⁻¹ -----		g m ⁻³	%
Pr1 Nonfertilized control	4.97	1.72	26.82	22.05	1.65	0.57	4.36	5.07	52.06
Pr2 P fertilized control	5.08	2.03	29.93	21.00	1.47	0.52	3.95	5.55	51.13
Pr3 Low, early K dose	5.27	1.98	30.22	48.23	1.93	0.60	4.47	5.38	59.18
Pr4 Farmers' practice	5.31	1.87	22.22	33.23	2.05	0.73	4.70	6.28	60.47
Pr5 High, early K dose	4.71	1.70	40.47	63.83	1.18	0.48	4.25	4.33	42.68
Pr6 High, late K dose	5.03	1.83	31.03	29.07	1.75	0.58	4.42	5.68	54.19
Pr7 High, split K dose	5.28	2.07	31.70	66.60	1.93	0.63	4.49	5.65	60.45
Pr8 Farmers' practice and late K	4.83	1.60	20.77	23.53	1.50	0.53	4.34	4.92	47.94

表3b. 试验开始施肥处理后的8年测试0-20cm土层土壤微量元素含量。

Treatment		Al	H+Al	Zn	B	Cu ³	Fe	Mn
		----- <i>cmol_c L⁻¹</i> -----		----- <i>g m⁻³</i> -----				
Pr1	Nonfertilized control	0	2.08	1.65	0.24	0.91	61.32	1.35
Pr2	P fertilized control	0	1.92	1.70	0.18	0.89	60.62	1.48
Pr3	Low, early K dose	0	1.82	1.92	0.23	0.92	58.08	1.85
Pr4	Farmers' practice	0	1.83	1.82	0.22	0.90	57.87	1.67
Pr5	High, early K dose	0.12	2.42	1.48	0.12	0.83	62.25	1.25
Pr6	High, late K dose	0	2.02	1.80	0.23	0.94	60.87	1.48
Pr7	High, split K dose	0	1.75	1.87	0.18	0.86	57.15	1.65
Pr8	Farmers' practice and late K	0	2.25	1.40	0.16	0.77	62.02	1.15

究中高的钾肥施肥量是不合适的。然而, 尽管当钾肥的施用量为60 kg K₂O ha⁻¹时大豆籽粒产量显著激增, 但是钾肥施肥量的产量效应函数却低于这一水平还是模糊的。低钾及高钾施肥量下产量效应的显著差异为进一步研究提供了可能的假设。

根据李比希定律, 植物生长发育会受到最低有效养分的限制。某些地方钾的施肥量低于60 kg K₂O ha⁻¹, 钾素显然是限制营养元素。当钾的施肥量超过60 kg K₂O ha⁻¹, 是否有另外一种营养元素可能成为限制元素? 氮可以排除在候选名单外, 因为在农民的习惯施肥 (Pr4和Pr8) 中包含了一部分氮素, 其没有产生任何额外的结果。此外, 曾有广泛报道慢生根瘤菌 (与作物的根联系在一起) 能够为作物提供必要的氮 (Mendes *et al.*, 2008; Aratani *et al.*, 2008; Embrapa Soja, 2011)。此外, 处理Pr2-Pr8的磷施肥量较高, 对作物是有效的, 能影响作物的产量, 这种营养元素似乎也不是一个限制因素。本试验获得的数据中没有其他证据能够证明除钾素以外的任何一个大量或微量元素可能限制大豆产量。

需要进一步考虑的是, 尽管施用高施肥量的钾, 钾的有效性可能会限制大豆的生长、发育及产量。大豆对钾的要求是植物生长及生物量的函数, 但他们在豆荚生成和灌浆期显著增加 (Pettigrew, 2008)。考虑去除20 kg K₂O ha⁻¹钾素, 已由Oliveira Jr.*et al.* (2013) 验证, 同时检查大豆作物中的钾平衡, 塞拉多土壤无法提供超过15 kg K₂O ha⁻¹的钾素 (表4)。实际上, 可观察到Pr1和 Pr2处理的植物上发生严重缺钾症状, 比如收获时发现空豆荚, 瘪豆及绿叶 (照片4)。正如已经显示的玉米生产 (Wander *et al.*, 2015), 缺钾情况下获得的产量极端可怜, 不允许任何可持续的长期生产系统。随钾肥施用获得的产量明显增加, 然而, 对获得的产量却不满意, 这是因为与可实现的产量潜力之间仍有很大差距。此外, 当钾肥的施肥量超过60 kg K₂O ha⁻¹时, 对进一步的产量增加明显无效。

较肥沃的土壤上, CEC范围较高, 一个生长季所需施

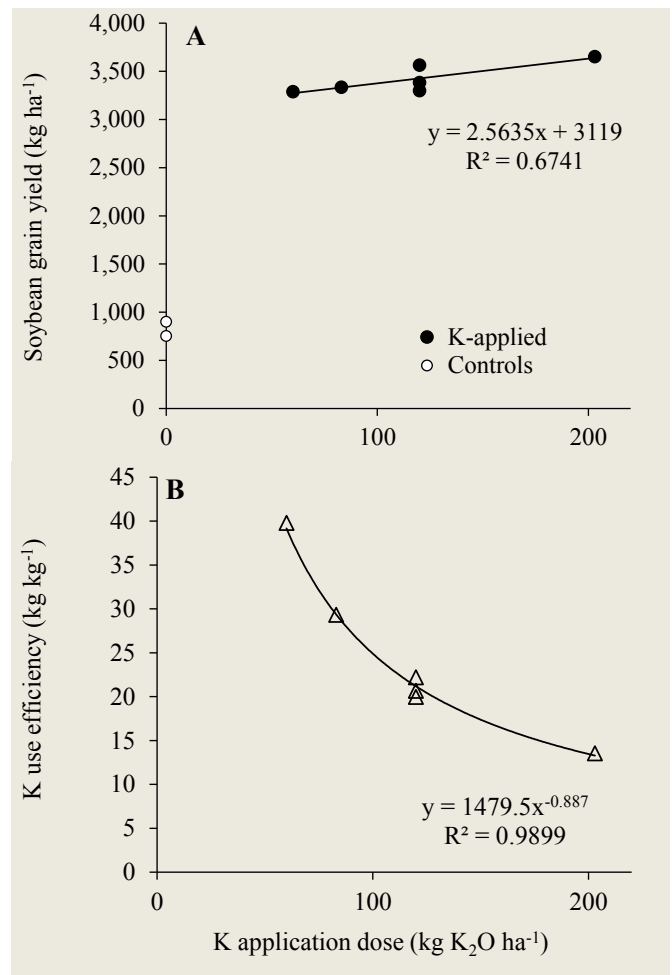
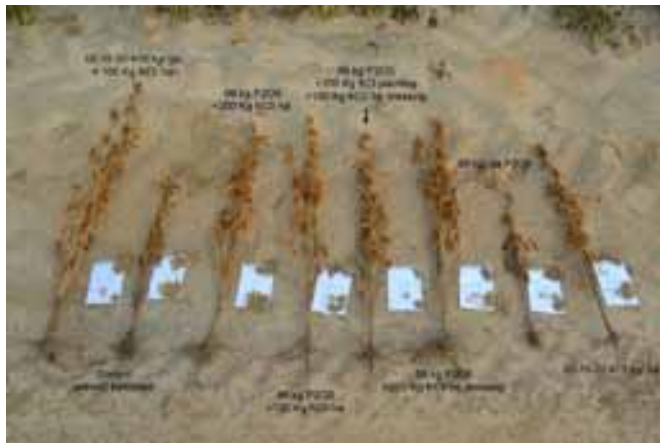


图2. 大豆产量 (A) 和KUE (B) 对施钾量的效应

肥量的钾肥只基施应当可以建立一个适当的用以整个生长季的钾储备 (Clover and Mallarino, 2013; IPI, 2014)。在这里, 当高施肥量的钾肥基施, 追施或分两次施用, 植物对钾的吸收保持不变, 为60~70 kg K₂O ha⁻¹ (表4), 其中一些可能来源于秸秆的营养释放 (Wilhelm *et al.*, 1986;

表4. 施钾量和大豆籽粒钾素吸收量。

Treatment	K application regime	K application dose	K uptake by soybean grain yield
			-----kg K ₂ O ha ⁻¹ -----
Pr1	Non-fertilized control	0	15.1
Pr2	P fertilized control	0	18.0
Pr3	Low, early K dose	60	65.8
Pr4	Farmers' practice	83	66.7
Pr5	High, early K dose	120	66.0
Pr6	High, late K dose	120	67.7
Pr7	High, split K dose	120	71.3
Pr8	Farmers' practice and late K	203	73.0



照片4. 收获时选取的代表性植株照片显示施肥技术对植株大小和生殖生长状况的影响。照片由作者拍摄

Silva *et al.*, 1994)。因此, 所施用的钾的回收率低于40~45 kg K₂O ha⁻¹, 其他的钾素在根际消失了。这个解释表明, 生长在酸性砂质土壤中的大豆, 作物吸收利用无论何时施用的钾肥的机会短暂, 未被吸收的钾肥被降雨淋失掉。年度钾肥施用量分成几次施用可以为作物提供更多的利用这种养分的机会。这种方式下, 根系发育可能会改善, 钾素的回收率可能会增加。此外, 精确的营养输送, 即在正确的时间和输送合适的数量, 更容易实现。因此, 随钾肥施用量增加, 大豆产量将会进一步提高将变得更有利。另外, 也可以考虑叶面施钾。这种方法已被试验验证过, 似乎是可行的 (Garcia and Hanway, 1976), 但在肥沃的土壤上的验证结果却是模棱两可的 (Poole *et al.*, 1983; Haq and Mallarino, 1998)。然而, 叶面施肥可能是有益的, 该方法对生长在贫瘠的砂质氧化土上的大豆值得认真考虑。

结论

近几十年来, 成功的玉米大豆轮作产业从南部的州发展到西南部巴伊亚州, 也带来了适用于任何情况下的施肥示范。它假定在该地区像其他地方一样大量施用石灰

和磷肥是成功的关键。然而, 钾素的供应对可持续大豆生产是至关重要的, 因为贫瘠的砂质氧化土不能满足大豆对钾的需求。仅仅依靠秸秆还田无法满足作物高产对钾的需求。高施钾量钾肥基施、追施或分成两次施用, 钾的吸收保持不变, 为60~70 kg K₂O ha⁻¹, 所施钾肥回收率小于40~45 kg K₂O ha⁻¹, 剩余的被浪费了。当施用高施钾量的钾肥时, 建议考虑分次施用, 这有助于获得更高的pH以及土壤OM和K₂O的含量, 更低的Al离子和H离子。

致谢

感谢国际钾肥研究所 (IPI) 对本研究的资助, 并理解研究作为开发工具的重要性。感谢 José Carlos Polidoro, Vinicius de Melo Benites, Ronaldo Pereira de Oliveira博士为这个项目的辛勤付出。

参考文献

- Aratani, R.G., E. Lazarini, R.R. Marques, and C. Backes. 2008. Nitrogen Fertilization in Soybean in No-Tillage System Introduction. *Biosci. J., Uberlândia*, 24(3):31-38.
- Barber, S.A. 1976. Efficient Fertilizer Use. *In: Patterson, F.L. (ed.). Agronomic Research for Food. ASA Special Publication 26, 1976. p.13-29.*
- Benites, V.M., M. da C.S. Carvalho, A.V. Resende, J.C. Polidoro, A.C.C. Bernardi, and F.A. de Oliveira. 2009. Potássio, Cálcio e Magnésio. *In: Simpósio sobre Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes (2009: Piracicaba, SP) Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes; v. 2 anais. Eds: L.I. Prochnow, V. Casarin & S.R. Stipp. Piracicaba: 362 p. :il. Cap. 3 p. 133-206. IPNI - Brasil, 2010.*
- Clover, M.W., and A.P. Mallarino. 2013. Corn and Soybean Tissue Potassium Content Responses to Potassium Fertilization and Relationships with Grain Yield. *SSSAJ 77(2):630-642.*
- COMIGO. 2007. Resultados 2007. Centro Tecnológico Comigo, Geração e Difusão de Tecnologias.
- Embrapa Soja. 2011. Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil 2012 e 2013. Londrina.
- Fageria, N.K., and V.C. Baligar. 2005. Nutrient Availability. *In: Encyclopedia of Soils in the Environment. D. Hillel (ed.), p. 63-71. San Diego, CA: Elsevier.*
- Fageria, N.K., and V.C. Baligar. 2001. Lowland Rice Response to Nitrogen Fertilization. *Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32:1405-1429.*
- Garcia, L., and J.J. Hanway. 1976. Foliar Fertilization of Soybeans during the Seed-Filling Period. *Agron. J. 68:653-657.*

- Grassini, P., J.A. Torrión, K.G. Cassman, H.S. Yang, and J.E. Specht. 2014. Drivers of Spatial and Temporal Variation in Soybean Yield and Irrigation Requirements in the Western US Corn Belt. *Field Crops Research* 163:32-46.
- Haq, M.U., and A.P. Mallarino. 1998. Foliar Fertilization of Soybean at Early Vegetative Stages. *Agron. J.* 90:763-769.
- Indexmundi. 2015. <http://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=soybean-oilseed>.
- IPI. 2014. Potassium - A Nutrient Essential for Life. Booklet. International Potash Institute. 22 p.
- Koester, R.P., J.A. Skoneczka, T.R. Cary, B.W. Diers, and E.A. Ainsworth. 2014. Historical Gains in Soybean (*Glycine max* Merr.) Seed Yield are Driven by Linear Increases in Light Interception, Energy Conversion, and Partitioning Efficiencies. *J. Experimental Botany* 65:3311-3321.
- Lopes, A.S., L.R.G. Guilherme, and S.J. Ramos. 2012. The Saga of the Agricultural Development of the Brazilian Cerrado. International Potash Institute *e-ifc* 32, November 2012.
- Mendes, I.C., F. Bueno dos Reis Jr., M. Hungria, D.M. Gomes de Sousa, and R.J. Campo. 2008. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em latossolos do Cerrado. *Pesq. Agropec. Bras., Brasília* 43(8):1053-1060.
- Moraes, G.A.F., N.L. Menezes. 2003. Desempenho de sementes de soja sob condições diferentes de potencial osmótico. *Ciência Rural, Santa Maria* 33:219-226.
- Muñoz-Hernández, R.J., R.I. Silveira. 1998. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). *Sci. Agríc.* 55: 79-85.
- Oliveira Jr. A., C. Castro, F.A. Oliveira, L.T. Jordão. 2013. Adubação potássica da soja, cuidados no balanço de nutrientes. *Informações Agronômicas*, número 143, Set/2013. Piracicaba: IPNI. p. 1-10. Soja. In: Prochnow, L.I., V. Casparin & S.R. Stipp (Org.). *Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: culturas*. V. 3. Piracicaba: IPNI. p. 1-38.
- Pettigrew, W.T. 2008. Potassium Influences on Yield and Quality Production for Maize, Wheat, Soybean and Cotton. *Physiologia Plantarum* 133:670-681.
- Poole, W.D., G.W. Randall, and G.E. Ham. 1983. Foliar Fertilization of Soybeans. I. Effect of Fertilizer Sources, Rates, and Frequency of Application. *Agron. J.* 75:195-200.
- Roder, W., S.C. Mason, M.D. Clegg, and K.R. Knipe. 1989. Crop Root Distribution as Influenced by Grain Sorghum-Soybean Rotation and Fertilization. *SSSAJ* 53(5):1464-1470.
- Rosolem, C.A., J.C. Calonego, and J.S.S. Foloni. 2003. Lixiviação de potássio da palha de coberturas de solo em função da quantidade de chuva recebida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27:355-362.
- Silva, J.E., J. Lemainski, and D.V.S. Resck. 1994. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de Cerrados do oeste Baiano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 18:541-547.
- Specht, J.E., D.J. Hume, and S.V. Kumudini. 1999. Soybean Yield Potential - A Genetic and Physiological Perspective. *CS* 39(6):1560-1570.
- Tanaka, R.T., and H.A.A. Mascarenhas. 1992. Soja, nutrição correção do solo e adubação. Campinas: Fundação Cargill, 60 p. (Série Técnica, 7).
- Van Roekel, R.J., L.C. Purcell, and M. Salmerón. 2015. Physiological and Management Factors Contributing to Soybean Potential Yield. *Field Crops Research* 182:86-97.
- Wilhelm, W.W., J.W. Doran, and J.F. Power. 1986. Corn and Soybean Yield Response to Crop Residue Management under No-Tillage Production Systems. *Agron. J.* 78:184-189.
- Wander, A.E., O.F. Silva, and T.A. Wiendl. 2015. Economic Viability of Potassium Fertilization in Corn Production on Tropical Soils under No-Tillage System. International Potash Institute *e-ifc* 40, March 2015.

“钾肥施肥量、施肥制度和施肥方法对干旱环境下棉花发育及籽棉产量的影响”一文可以在国际钾肥研究所 (IPI) 官方网站上浏览和下载: [区域活动/拉丁美洲](#)