

研究报告



照片提供: IPI

印度贾坎德邦省在多种蔬菜作物上增强钾肥施用以提高产量和经济效益

Kumar, R.⁽¹⁾, S. Karmakar⁽²⁾, A.K. Sarkar⁽²⁾, N. Kumar Awasthi⁽³⁾, and H.Magen⁽⁴⁾

摘要

在贾坎德邦州不同地区的农田进行了一系列的试验, 研究当土壤中有效钾含量高的情况下各蔬菜, 即四季豆 (*Phaseolus vulgaris*)、茄子 (*Solanum melongena* L.)、黄瓜 (*Cucumis sativus*)、苦瓜 (*Momordica charantia*)、马铃薯 (*Solanum tuberosum*)、葫芦瓜 (*Lagenaria siceraria*)、南瓜 (*Luffa acutangula*)、红辣椒 (*Capsicum annuum* L.)、甜辣椒 (*Capsicum annuum* var. *glossum*) 对不同施钾肥处理的反应。试验设有5个钾肥施用处理, 分别为: 1) 农民的习惯施肥 (FFP), 2) 推荐施肥量的100%, 且全部基施, 3)

推荐施肥量的100%, 一半基施, 一半在开花期施用, 4) 推荐施肥量的150%, 全部基施, 5) 推荐施肥量的150%, 一半基施, 一半在开花期施用。氮肥和磷肥的施用量依据推荐量施用, 且各处理施用量保持一致。与农民的习惯施肥 (FFP) 相比, 9种蔬菜作物在按照推荐钾肥施用量下施用

⁽¹⁾土壤与农业化学系, Birsa 农业大学, Ranchi, Jharkhand, India

⁽²⁾农学系, Birsa 农业大学, Ranchi, Jharkhand, India

⁽³⁾国际钾肥研究所, India

⁽⁴⁾国际钾肥研究所, Switzerland

通讯作者: rkssacbau@rediffmail.com

时均显著增产,平均增产30%。如果加大钾肥施用量,即当施肥量为推荐施肥量的150%时,增产较小,仅比推荐施肥量高出22%,而且平均而言,不同蔬菜之间变化较大。对大多数蔬菜作物而言钾肥分次施加能增产,但是增产效果不是很大。各种蔬菜作物对钾的需求之间的差异要联系作物的生命周期、物候阶段、种植模式、收获物中钾和碳水化合物的含量进行讨论。总之,如果要开发蔬菜的生产潜力,寻求农民受益提高之路,施用钾肥至关重要。对大多数蔬菜作物的试验显示,推荐钾肥施用量应该重新验证和更新。分次施用钾肥对产量带来的积极影响表明随作物的种植季节施用钾肥是有益的。

引言

土壤通常不能自动补充年复一年作物种植吸收损失掉的养分 (Mengel and Kirkby, 1987)。因此,施肥对维持土壤生产力和肥力至关重要。连续收获的作物带走了土壤中的大量营养物质,如果土壤的营养状况不能定期的检测,且当发现土壤养分含量不足时又没有通过平衡施肥进行养分修复,那么土壤就会变得非常贫瘠。关于植物主要的营养素氮磷钾,其中钾素的需求蔬菜作物远远高于粮食作物。蔬菜作物缺钾不仅会导致产量下降,还会影响蔬菜质量及储存期 (Geraldson, 1985; Usherwood, 1985)。

钾素是各种酶的活化剂,而这些



Map 1. Ranchi district, Jharkhand state, India. (By Joy1963. Own work, inset based on image: India Jharkhand locator map.svg. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons. <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:JharkhandRanchi.png#/media/File:JharkhandRanchi.png>).

酶直接影响且参与了众多植物过程,如能量代谢、淀粉合成、硝酸还原、碳水化合物源库关系及分配等。钾素在植物体内非常易动,并参与了植物体内水势调节、叶片中气孔导度的调节、根系中水吸收的调节。钾素能提高果实和块茎的形成和发育,并能增强作物抵抗某些真菌性和细菌性疾病的能力。土壤中有效钾含量低通常无法满足作物高产的需求 (Engels et

al., 2012; Hawkesford et al., 2012)。

贾坎德邦位于印度的东北部 (图1),如果能改进蔬菜种植管理措施,蔬菜作物产量显著提高的潜力较大。总体而言,贾坎德邦土壤中的有效钾含量处于中低水平,其中大51%的土壤有效钾含量处于中等水平,18%的土壤有效钾含量处于低等水平。因此,结合着其他营养元素的施用来提高钾肥的施用水平,将是贾



French bean (*Phaseolus vulgaris*). Photo by IPI.



Brinjal (*Solanum melongena* L.). Photo by IPI.



Cucumber (*Cucumis sativus*). Photo by IPI.

坎德邦进一步发展蔬菜生产的第一步。

钾肥通常是在进行播种或移栽时基施以确保作物的立苗, 还有一些随后的钾肥追施贯穿于整个作物生命周期。然而, 钾的有效性在土壤中很不稳定, 砂壤土中的有效钾易于从根系处淋失掉, 而厚重的黑壤中的有效钾可能会被强烈的固定在土壤表面。因此, 随作物的种植季节分次施钾肥将会是一个合理的施肥措施, 这样可确保当作物需求时钾的有效性。

可是当地大多数的农民倾向于施用氮磷肥, 有时施用量还过高, 他们却低估甚至是忽略了作物对钾的需求。因此本研究的目标是: 1) 量化各种蔬菜作物的产量对施钾量及施钾方式的反应, 2) 通过试验示范促进钾肥在印度贾坎德邦蔬菜种植上的施用, 3) 发起钾肥施用的教育实践。

材料与方 法

2011-2014年在印度贾坎德邦州兰契市的Kanke (东经 $85^{\circ} 19' 282''$ 北纬 $23^{\circ} 17' 226''$)、Pithoria (东经 $85^{\circ} 17' 924''$ 北纬 $23^{\circ} 31' 261''$)、Ormanjhi (东经 $85^{\circ} 28' 201''$ 北纬 $23^{\circ} 27' 883''$)、Patratu (东经 $85^{\circ} 17' 372''$ 北纬 $23^{\circ} 37' 629''$)的农田进行了各种主要蔬菜作物的田间试验(图1)。土壤为砂质壤土, 其中沙子占52%~63.7%, 淤泥占20.7%~28.21%, 粘土占20.7%~18.8%。经检测土壤中

有机碳含量 $3.94\sim 6.51\text{ g kg}^{-1}$, pH $5.6\sim 6.6$, 碱解氮 $180\sim 278\text{ kg ha}^{-1}$, 有效磷 $35\sim 88\text{ kg ha}^{-1}$, 速效钾 $121\sim 480\text{ kg ha}^{-1}$ 。

供试蔬菜作物有: 四季豆 (*Phaseolus vulgaris*)、茄子 (*Solanum melongena* L.)、黄瓜 (*Cucumis sativus*)、苦瓜 (*Momordica charantia*)、马铃薯 (*Solanum tuberosum*)、葫芦瓜 (*Lagenaria siceraria*)、南瓜 (*Luffa acutangula*)、红辣椒 (*Capsicum annum* L.)、甜辣椒 (*Capsicum annum* var. *glossum*)。

供试农田划分为2类, 分别是土壤中有有效钾含量中等田块和高等田块。其中四季豆和辣椒种植在中等田块上, 其余的蔬菜作物种植在有效钾含量高等田块上。蔬菜苗在苗圃或塑料大棚中培育, 播种15-20天后移栽到大田。各蔬菜作物上氮肥和磷肥的施用量按照国家推荐量施用, 各处理施用量一致。氮磷钾肥分别选用尿素、磷酸氢二铵和氯化钾。

所有蔬菜作物上的试验均有5个处理, 分别是: 1) 农民的习惯施肥 (FFP), 一般情况下不施用钾肥, (K_0), 2) 推荐施钾量的100%, 全部基施, ($K_{100\%}$), 3) 推荐施钾量的100%, 一半基施, 一半在开花期施用, ($K(50+50)\%$), 4) 推荐施钾量的150%, 全部基施, ($K_{150\%}$), 5) 推荐施钾量的150%, 一半基施, 一半在开花期施用, ($K(75+75)\%$)。每种蔬菜作物的详细施肥措施见表1。每块农田的试验作

为一次重复。各试验进行1-2年, 各个实验的重复数为3-6次(表1)。

结果与分析

钾肥施用是蔬菜高产及高品质的限制因素吗? 这个基本问题的答案可以从多个角度来考虑。首先是土壤中有有效钾的基本地力情况, 它能表明土壤供应作物钾的潜力。当前的试验分析数据表明所有地块中有有效钾的平均含量较高, 为 $121\sim 480\text{ kg ha}^{-1}$ (表1)。然而, 开发利用这一土壤潜力很大程度上取决于根系所能达到的土壤容积。土壤水的可用性维度及时间等因素强烈限制根系的扩张及功能。实际上只有一小部分理论上可用的土壤矿物养分被开发利用, 因此, 在肥沃的土壤上也应该积极施用肥料。

钾肥施用量提高, 作物表现出积极的响应, 产量迅速且显著提高明确表明作物生长发育对钾素供应的依赖。这和前人 (Balasubramanian et al., 1991; Hassan et al., 1994; Patil et al., 1996; Imas and Bansal, 1999; Deka et al., 2000; Wuzhong, 2002; Umamaheshwarappa et al., 2003; Bidari et al., 2004; Thakre et al., 2005; and Hari et al., 2007) 的研究相一致, 也被本试验中的9种蔬菜作物所验证, 即对比不施钾肥处理 (K_0) 与官方提供的推荐钾肥施用量处理 ($K_{100\%}$) 的蔬菜产量(表2, 图1), 平均增产31%, 南瓜增产最小为15%, 葫芦瓜最敏感, 增产最大为51%。随之而来的



Bitter gourd (*Momordica charantia*). Photo by IPI.



Potato (*Solanum tuberosum*). Photo by IPI.



Bottle gourd (*Lagenaria siceraria*). Photo by IPI.

Table 1. Detailed description of the experimental design, basic soil K availability, annual nitrogen (N) and phosphorus (P) dose, and the dose and regime of K application according to treatments and crops. Whenever split, K was applied as basal and at bloom, half and half. FFP – farmers’ fertilization practice.

Crop	French bean	Brinjal	Cucumber	Bitter gourd	Potato	Bottle gourd	Ridge gourd	Green chili	Sweet pepper
Years	2	1	1	2	1	1	2	2	2
Exp. plots	3	3	3	3	3	4	3	3	3
-----kg ha ⁻¹ -----									
Basal soil available K	121-258	140-225	284-480	297-416	284-416	284-417	284-322	284-416	297-258
Basal N	40	200	80	80	100	80	80	100	100
Basal P	80	150	40	40	150	40	40	60	150
-----K dosage and regime (kg ha ⁻¹)-----									
Treatment									
FFP (K ₀)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K _{100%}	40	100	40	40	100	40	40	50	100
K _{(50+50)%}	20+20	50+50	20+20	20+20	50+50	20+20	20+20	25+25	50+50
K _{150%}	60	150	60	60	150	60	60	75	150
K _{(75+75)%}	30+30	75+75	30+30	30+30	75+75	30+30	30+30	38+37	75+75

是平均净利润的增加, 大约为45 KR_s ha⁻¹, 南瓜的最小为11 KR_s ha⁻¹, 茄子的最大为96 KR_s ha⁻¹。平均相对增加的净回报率为49%, 南瓜的最小为18.5%, 马铃薯的最大, 为118% (表3)。这些结果清楚的表达了虽然土壤中有效钾含量丰富, 但是如果对供试蔬菜作物基施钾肥会给农民带来的重大的收入。

然而, 各蔬菜作物的产量对钾肥施用量的变化的反应差异显著 (图1)。作物反应小或者没有反应表明除了钾的需求以外的其他因素, 如有效水不充分, 其他营养元素不足, 温度情况不理想, 都可能限制作物的生长和发展。如果在主要限制因素没有解决之前, 增加钾的施用量对作物不起作用。另外, 蔬菜作物产量对提高钾的施用量反应弱也可能作物对钾的需求已满足。要区分这两种情况, 需粗略的估计作物对钾的需求。显然, 作物收获后植株含钾量提供了一个最小阈值来估算在作物生长发育时期从土壤中吸收的钾。然而这种测量超出了本研究的范围, 关于果实和块茎中的含钾量可以从公共网络资源那里获取 (USDA National Nutrient Database for Standard Reference, <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list>)。植株中钾的含量

乘以产量就会计算出各处理蔬菜从土壤中吸收的钾 (假定果实中钾的含量不受土壤中钾素含量状况的影响)。钾素深入参与了糖分运输和新陈代谢 (Engels *et al.*, 2012), 这可能会严重影响作物钾的需求。因此, 应特别注意果实或块茎中碳水化合物积累的差异 (表5)。

南瓜果实对施用的钾素获取率很低, 不到15% (表4), 随钾素施用量的增加产量也增加, 但是相比其他蔬菜作物增加量不大 (图1)。对于南瓜来说, 钾素似乎不是限制产量增长的根本因素。四季豆、黄瓜、苦瓜、红辣椒、葫芦瓜这一类蔬菜作物的果实对施用钾素的吸收率大约为50%。假定一个粗略的收获指数0.5, 即作物对钾素的需求满足钾的投入。联系到这些蔬菜作物随钾施用量增加产量也显著增加 (图1), 可见钾素这种营养的有效性似乎控制着作物的发育。这些结果支持要更新推荐的钾肥施用量, 至少50%, 甚至更多。在所研究的蔬菜作物中, 茄子、马铃薯、甜辣椒属于一组, 它们的果实或块茎中存有大量从土壤中吸收的钾素, 甚至有时含量会超过肥料所提供的钾素量 (表4), 同时它们也累积了大量的碳水化合物 (表5)。随钾素施用量的增加, 马铃薯和甜辣椒的产

Table 2. Effect of K dose and regime on mean annual yields of nine vegetable crops grown in Ranchi district, Jharkhand state, India.

Crop	French bean	Cucumber	Bitter gourd	Ridge gourd	Chili pepper	Brinjal	Potato	Bottle gourd	Sweet pepper
-----Mg ha ⁻¹ -----									
Treatment									
FFP (K ₀)	7.3	9.4	7.5	8.0	7.1	50.6	9.2	9.2	21.8
Rec. (K _{100%})	9.6	12.4	9.2	9.2	8.5	67.1	13.3	13.9	29.1
Rec. split (K _{(50+50)%})	10.0	13.8	9.3	9.9	8.1	73.2	16.2	15.5	33.7
Enhanced (K _{150%})	10.5	15.4	10.6	10.8	10.1	76.8§	17.8	17.1	42.1
Enhanced split (K _{(75+75)%})	10.8	16.0	11.2	11.5	10.0	81.8	23.3	18.8	37.7
LSD (P=0.05)	1.88	2.19	1.74	2.22	2.06	14.9	4.81	1.58	11.1

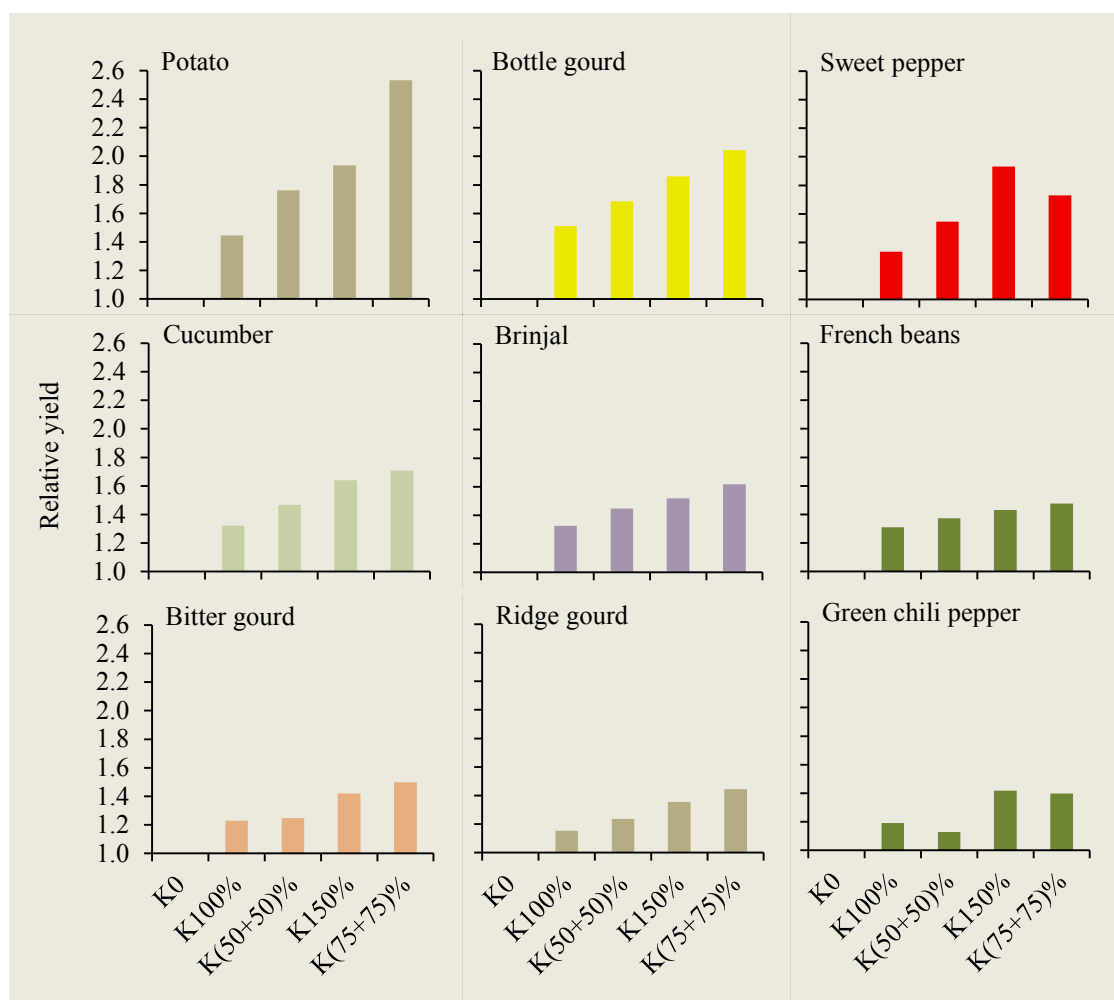


Fig. 1. Yield increment of nine vegetable crops in response to K dose and application regime. Data represent the relative yield compared to that of the K-free (K_0) farmers fertilization practice (FFP). $K_{100\%}$ = the recommended dose, applied once upon planting; $K_{(50+50)\%}$ = similar dose split into two uniform portions, applied upon planting and at bloom; $K_{150\%}$ = enhanced dose applied once upon planting; $K_{(75+75)\%}$ = enhanced dose split as described above.

Table 3. Net return to the farmer as a function of the current market price and the yield obtained by each crop species in response to K dose and regime. Data are presented by 1,000 Rs ha⁻¹ (K Rs ha⁻¹).

Crop	French bean	Cucumber	Bitter gourd	Ridge gourd	Chili pepper	Brinjal	Potato	Bottle gourd	Sweet pepper	
	-----Current market price (Rs kg ⁻¹)-----									
	15	10	15	10	20	6	15	10	12	
Treatment	-----Net return (K Rs ha ⁻¹)-----									
K_0	69.2	58.6	76.3	59.5	106.2	227.6	49.7	66.2	204.3	
$K_{100\%}$	101.9	87.5	100.7	70.5	131.8	323.5	108.3	111.9	288.7	
$K_{(50+50)\%}$	108.6	101.3	102.8	77.0	123.0	359.8	151.8	128.6	343.9	
$K_{150\%}$	114.5	116.7	121.4	85.9	163.4	380.5	174.2	143.6	443.1	
$K_{(75+75)\%}$	119.1	123.0	130.1	93.1	160.6	409.9	257.3	160.1	390.3	

量增加最大(图1),表明对钾素有效性的的重要依赖。马铃薯块茎吸收了所供钾素的60%~75%,淀粉产量是4 t ha⁻¹。甜辣椒果实中吸收的钾素与施加的钾素量持平(表4)。此外,茄子果实中吸收的钾素量明显高于所施加的钾素量。果实中累积的碳水化合物为3~5 t ha⁻¹。这些结果强有力的表明对这种作物茄子钾的有效性至关重要(Hochmuth et al., 1993)。随钾肥施用量增加茄子的产量增加相对较小清楚的说明当前试验中施用钾素的剂量范围远远低于钾素的实际需求,这对马铃薯和甜辣椒这两种蔬菜作物来说也适应。

处理K_(50+50%)把所推荐的施钾量分2次施用,即一次基施,一次在开花期施用,发现对产量影响不显著(图1),产量增加平均为8%,而且各蔬菜作物之间变化较大。该处理下红辣椒是唯一的产量下降的作物。产量增加不足10%的作物有苦瓜、四季豆、茄子、南瓜,所增加的量分别为1.5%、5%、5%、7%。产量增加显著的作物发生在黄瓜、葫芦瓜、甜辣椒、马铃薯,所增加的量分别为11%、12%、16%、22%。处理K_(75+75%)对产量的影响更小,平均不到6%。在这里,相比处理K_{150%},甜辣椒产量明显下降,红辣椒保持稳定,四季豆、茄子、黄瓜、苦瓜、南瓜、葫芦瓜产量增加小于10%,然而,马铃薯产量增加了31%。

分次施用钾肥的想法源于2个基本原因:1)钾的移动性相对较强,尤其是位于贾坎德邦的试验地点的土壤为典

型的砂壤土,2)在植物生命周期内植株对钾素的需求呈动态变化,假定随植物生长期连续供应钾素可确保植株随时需求钾素的有效性。本研究的结果表明,这种假设通常是有效的。因此,大部分情况下农民的纯收益增加(表3)。然而,钾素的施用应该根据物候期的不同需求及种植模式来调整适合各蔬菜作物。在这方面一些蔬菜作物的试验表现明显不同。

对于葫芦瓜,产量与开出第一朵雌花的植物生物量函数及雌雄花之间的比率有关。基施充足的氮肥确保足够的植物生物量,而随生长季节平衡的氮钾比率(1:1~2:1)会带来最佳雌雄花比率、座果率、果实生长和质量(Swiader et al., 1994)。基肥分2次施用可能是非常有益的,如同本试验中对黄瓜和葫芦瓜的影响。然而,除非把基肥分成几次施用附加值可能才会出现(Lin et al., 2004)。一些氮磷肥施用措施的修改可能会帮助其他一些葫芦作物提高产量。

茄子和四季豆的特点是连作模式,随生长季节施用钾肥将会带来好处,就像本文所示的分次施用钾肥会增加产量。然而,正如上面提到的,四季豆的产量最终限制因素至少在这里好像不是钾素。在下确切的结论之前茄子需要大量的钾素。

本试验中最敏感的作物是土豆,似乎进一步提高产量的潜力巨大。虽然基施氮肥对产生足够的营养物质支撑后

Table 4. Potassium removal from the soil by the fruit or tubers of nine vegetable crops grown under different K fertilization regimes. Seeds were not included, assuming that products are consumed as fresh vegetables, before seed maturation. In parentheses, the seasonal K dose per treatment for each crop.

Crop	French bean	Cucumber	Bitter gourd	Ridge gourd	Chili pepper	Brinjal	Potato	Bottle gourd	Sweet pepper
	-----K content in fruit or tubers (g K kg ⁻¹)-----								
	2.1	1.5	3.2	0.6	3.2	2.3	4.2	1.5	1.75
Treatment	-----K removal by yield (kg K ha ⁻¹)-----								
	K ₀	15.4 (0)	14.1 (0)	23.8 (0)	4.8 (0)	22.8 (0)	116.4 (0)	38.6 (0)	13.8 (0)
K _{100%}	20.1 (40)	18.6 (40)	29.3 (40)	5.5 (40)	27.2 (50)	154.3 (100)	55.9 (100)	20.9 (40)	50.9 (50)
K _(50+50%)	21.1 (40)	20.7 (40)	29.8 (40)	5.9 (40)	25.8 (50)	168.4 (100)	68.0 (100)	23.3 (40)	59.0 (50)
K _{150%}	22.0 (60)	23.1 (60)	33.9 (60)	6.5 (60)	32.4 (75)	176.6 (150)	74.8 (150)	25.7 (60)	73.7 (75)
K _(75+75%)	22.7 (60)	24.1 (60)	35.7 (60)	6.9 (60)	31.9 (75)	188.1 (150)	97.9 (150)	28.2 (60)	66.0 (75)

Table 5. Carbohydrate input in the fruit or tuber yields of nine vegetable crops grown under different K fertilization regimes. Seeds were not included, assuming that products are consumed as fresh vegetables, before seed maturation.

Crop	French bean	Cucumber	Bitter gourd	Ridge gourd	Chili pepper	Brinjal	Potato	Bottle gourd	Sweet pepper
	-----Carbohydrate content in fruit or tubers (%)-----								
	7	3.6	4.3	2	8.8	5.9	17.5	3.4	4.6
Treatment	-----Carbohydrate removal by yield (Mg ha ⁻¹)-----								
	K ₀	0.512	0.338	0.320	0.160	0.627	2.985	1.610	0.313
K _{100%}	0.670	0.447	0.394	0.184	0.747	3.959	2.328	0.473	1.339
K _(50+50%)	0.703	0.497	0.400	0.197	0.708	4.319	2.835	0.527	1.550
K _{150%}	0.732	0.555	0.455	0.216	0.890	4.531	3.115	0.581	1.937
K _(75+75%)	0.755	0.577	0.480	0.231	0.877	4.826	4.078	0.639	1.734

Ridge gourd (*Luffa acutangula*). Photo by IPI.

期块茎生长至关重要,但是一旦块茎形成后这种施加的营养应该显著降低,大量的钾素施用取而代之,目的是维持大量的碳水化合物从叶片向块茎转移。同样在这里,分次施加钾素的处理表现出了实质性的好处,但是整个施肥措施应该重新考虑。

本试验中甜辣椒和红辣椒提供了一个相同物种 (*Capsicum annuum*) 的有趣的对比。这种差异进一步揭示了物候现象决定作物对钾的需求。红辣椒生产许多小的果实,这些小果实 在植株生命期连续不断的出现和生长,在这种情况下,生殖努力显示一个相对稳定且较小的钾素需求,因此没有发现分次施用钾肥带来的有利影响。相反,甜辣椒生产较大的果实,有大的碳汇要求,座果率显示了一个波动模式,这将可能影响到当前钾素的需求 (Marcelis *et al.*, 2004)。因此,分次施用钾肥可能对产量产生积极的影响,但是应该联系植株坐果考虑一下的施肥时间或者同步性。这可能会解释甜辣椒对分次施用钾肥不一致的反应。在这里,修订推荐的施肥操作将使农民受益。

然而,在任何进一步研究之前,农民可能咨询本研究中不同钾肥施用措施带来的经济后果,鉴于各蔬菜作物当前市场价格,即使产量上小的改善也可能会显著增加农民的净收益。

Chili pepper (*Capsicum annuum* L.). Photo by IPI.

结论

1. 如果寻求蔬菜作物的开发潜力,基肥施用是最根本的。

2. 通过对大多数蔬菜作物的试验,推荐钾肥施用量和整个施肥操作措施应该重新审视,以保持一个平衡的营养状态。

3. 试验中分次施用钾肥带来的有利反应表明随作物的种植季节分配施肥的施用是有利的。

参考文献:

- Balasubramanian, R., K. Balakrishnan, and S. Manoharan. 1991. Effect of Potassium on Chili. *Spice India* 4:5-6.
- Bidari, B.I., M.D. Martur, and K.K. Math. 2004. Influence of Soil Properties on Yield and Quality of Chilies (*Capsicum annuum* L.) and Partitioning of Nutrients in Fruit Components. Paper presented at "Nation. Symp. on Input Use Efficiency in Agric. - Issues and Strategies", 25-27 Nov. 2004, Kerala, India. Agric. Univ., Thrissur, Kerala.
- Deka, N.C., and T.C. Dutta. 2000. Effect of Potassium on Yield and Economics of Potato Cultivation in an Acidic Soil of Assam. *Journal of Potassium Research* 16:77-79.
- Engels, C., E.A. Kirkby, and P. White. 2012. Mineral Nutrition, Yield and Source-Sink Relationships. *In: Marschner, P. (ed.) Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd edition.* Elsevier Ltd. p. 85-133.

Sweet pepper (*Capsicum annuum* var. *glossum*). Photo by IPI.

- Geraldson, C.M. 1985. Potassium Nutrition of Vegetable Crops. *In: Munson, R.D. (ed.) Potassium in Agriculture.* ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA. p. 915-927.
- Imas, P., and S.K. Bansal. 1999. Potassium and Integrated Nutrient Management in Potato. International Potash Institute, Switzerland. <http://www.ipipotash.org/presentn/kinmp.php#application>.
- Hari, G.S., P.V. Rao. Y.N. Reddy, and M.S. Reddy. 2007. Effect of Nitrogen and Potassium Levels on Yield and Nutrient Uptake in Paprika (*Capsicum annuum* L.) under Irrigated Conditions of Northern Telangana Zone of Andhra Pradesh. *The Asian J. Hort.* 2:193-196.
- Hassan, S., Z.A. Ramlan, and S. Inon. 1994. Influence of Potassium Fertilizers and Mulching on Growth and Yield of Chili (*Capsicum annuum*). *Act Hort.* 369:311-317.
- Hawkesford, M., W. Horst, T. Kichey, H. Lambers, J. Schjoerring, I. Skrumsager-Møller, and P. White. 2012. Functions of Macronutrients. *In: Marschner, P. (ed.) Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 3rd edition.* Elsevier Ltd. p. 135-189.
- Hochmuth, G.J., R.C. Hochmuth, and M.E. Donley. 1993. Eggplant Yield in Response to Potassium Fertilization on Sandy Soil. *Hort. Sci.* 28:1002-1005.

- Lin, D., H. Danfeng, and W. Shiping. 2004. Effects of Potassium Levels on Fruit Quality of Muskmelon in Soilless Medium Culture. *Scientia Horticulturae* 102:53-60.
- Marcelis, L.F.M., E. Heuvelink, L.R. Baan Hofman-Eijer, J. Den Bakker, and L.B. Xue. 2004. Flower and Fruit Abortion in Sweet Pepper in Relation to Source and Sink Strength. *Journal of Experimental Botany* 55(406):2261-2268.
- Mengel, K., and E.A. Kirkby. 1987. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Switzerland.
- Patil, S.R., U.T. Desai, B.G. Pawar, and B.T. Patil. 1996. Effect of NPK Doses on Growth and Yield of Bottle Gourd cv. Samrat. *J. Maharashtra Agri. University* 21:65-67.
- Swiader, J.M., S.K. Sipp, and R.E. Brown. 1994. Pumpkin Growth, Flowering, and Fruiting Response to Nitrogen and Potassium Sprinkler Fertigation in Sandy Soil. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119:414-419.
- Thakre, C.M., W.P. Badole, T.K. Tiwari, and P.B. Sarode. 2005. Effect of Different Levels of Sulphur, Phosphorus and Potassium on Yield and Quality of Brinjal. *J. Maharashtra Agric. Univ.* 30:352-353.
- Umamaheshwarappa, P., K.S. Krishnappa, M.P. Muthu, V.N. Gowda, and P.V. Murthy. 2003. Effect of Varying Level of NPK on Growth and Yield of Bottle Gourd in Southern Dry Region of Karnataka. *Mysore J. Agric. Sci.* 37:56-64.
- Usherwood, N.R. 1985. The Role of Potassium in Crop Quality. *In: Munson, R.D. (ed.). Potassium in Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA.* 489-513.
- Wuzhong, N. 2002. Yield and Quality of Fruits of Solanaceous Crops as Affected by Potassium Fertilization. *Better Crops International.* 16:6-8.

论文“印度贾坎德邦省在多种蔬菜作物上增强钾肥施用以提高产量和经济效益”可以在国际钾肥研究所官方网站[区域活动/印度](#)浏览和下载。