

研究报告



照片拍摄: E. Sokolowski

印度北方邦湖心平原蔬菜地块不同用量钾肥对蔬菜产量、效益及营养成分的影响

Tiwari, D.D.^{(1)(1a)}, S.B. Pandey⁽¹⁾, and N.K. Katiyar⁽¹⁾

摘要

2011-12到2012-13早春在印度北方邦坎普尔的钱德拉·谢卡尔农业技术大学纳加尔, 卡利安的蔬菜研究田进行了菜花、卷心菜、茄子和西红柿4种蔬菜在钾含量中等水平的土壤上对钾的需求试验。试验设计了5个钾肥施用处理, 分别是0、40、60、80、100kg K₂O ha⁻¹, 所有处理氮磷肥施用量一致, 推荐的施肥量分别是120kg N ha⁻¹和60kg P₂O₅。4种蔬菜在施用钾肥后产量都明显上升, 各蔬菜产

量最低的都是不施用钾肥的处理。当钾肥的施用量增加到100kg K₂O ha⁻¹时菜花、茄子、西红柿的产量和钾肥的产投纯利润也随之增高, 然而, 茄子在钾肥施用量为80kg K₂O ha⁻¹时产量和利润已达到最高。试验中各蔬菜产量结果证明即使土壤中钾元素中等, 但是对这4种蔬菜而言要想取

⁽¹⁾印度CSAU农业技术大学土壤农化系, Kanpur-208002, 北方邦, 印度
^(1a)通讯作者: ddtiwari2014@gmail.com

得更高的产量, 仅仅依靠土壤中钾元素供应是不够的, 必须增施钾肥。在这4种蔬菜上施用钾肥的产投比较高, 为25~69, 这表明钾肥施用经济风险小。化验分析所有蔬菜干物质中氮、磷、钾的含量, 结果显示在钾肥施用量为60kg K₂O ha⁻¹时各蔬菜中3元素增加最明显, 氮和磷的养分利用率最高。养分平衡计算显示菜花和卷心菜因氮元素的供应不足, 从而引起负平衡。同样, 在所有蔬菜中, 除了西红柿, 因钾的供应不足, 易引起钾的负平衡。通过对4种蔬菜的试验得出钾肥施用不仅能提高效率, 而且经济风险较低, 这在茄子和西红柿上表现明显。菜花和卷心菜因为氮的供应不足从而没有实现最高产量的潜力, 然而钾肥施用却提高了氮磷的养分利用率。我们还需要做进一步的研究, 即增加氮钾肥的施用量可能会提高蔬菜的产量。

引言

钾是一种植物生长发育必需的大量元素, 而且需求量大, 在植物生理生化方面扮演最重要的角色 (Marschner, 2012; Mengel and Kirkby, 2001)。植株体内缺钾则不能完成新陈代谢, 钾在植物体内只有一种存在形式那就是单价阳离子。钾往往通过新陈代谢及参与无机阴离子运输在植株体内运动, 它能促进60多种酶的活化和蛋白质的合成, 调节植物体内水分, 参与细胞的生长发育。无论是在光下还是黑暗条件下钾元素都能参与光合作用, 减少二氧化碳生成糖, 另外还可以协助转移糖分到果实或根部, 这在以果实或根部生长为主的果树和蔬菜生产中非常



花椰菜试验田照片拍摄: E. Sokolowski

重要。钾元素还能增强作物的抗病、抗虫害、抗寒能力从而提高产量。

对大部分土壤而言, 增加钾肥的施用量能提高作物产量和品质。本试验的研究目的就是通过2年的时间对印度北方邦湖心平原 (土壤钾含量中等) 种植的菜花、卷心菜、紫色茄子、西红柿4种蔬菜施加不同量的氯化钾发现对其产量和养分吸收的影响, 通过分析试验获得的数据提出当地蔬菜生产合适的钾肥施肥量。此外, 一开始提出产投比, 就是想通过计算化肥的支出和作物的收入用最高的产量和最大的效益回报农户。

土壤肥力高的土壤植物的矿物质营养供应充足, 然而绝大多数土壤不能满足植物营养的需求, 尤其是那些高产作物, 因此不得不施用化肥。因此本试验中我们设计了简

表 1. 施钾对蔬菜鲜重产量、收益和 BCR 的影响 (2 年数据评价)

钾肥处理	菜花			卷心菜			茄子			西红柿		
	产量	净增利润	BCR	产量	净增利润	BCR	产量	净增利润	BCR	产量	净增利润	BCR
kg K ₂ O ha ⁻¹	t ha ⁻¹	US\$ ha ⁻¹		t ha ⁻¹	US\$ ha ⁻¹		t ha ⁻¹	US\$ ha ⁻¹		t ha ⁻¹	US\$ ha ⁻¹	
K ₀	21.80	-	-	23.10	-	-	27.80	-	-	22.10	-	-
K ₄₀	24.55	458	25	26.40	550	29	33.50	950	51	26.35	708	38
K ₆₀	27.15	892	32	29.80	1,117	40	40.00	2,033	73	32.60	1,750	62
K ₈₀	27.75	992	27	29.75	1,108	30	43.35	2,583	69	34.70	2,100	56
K ₁₀₀	27.90	1,017	22	30.05	1,158	25	43.05	2,542	54	35.75	2,275	49
CD (P=0.05)	0.42			0.25			0.23			0.85		

注: 计算基于汇率 1USD=60Rs; 蔬菜种植投入 166.67USD t⁻¹; 钾肥投入 466.67USD t⁻¹

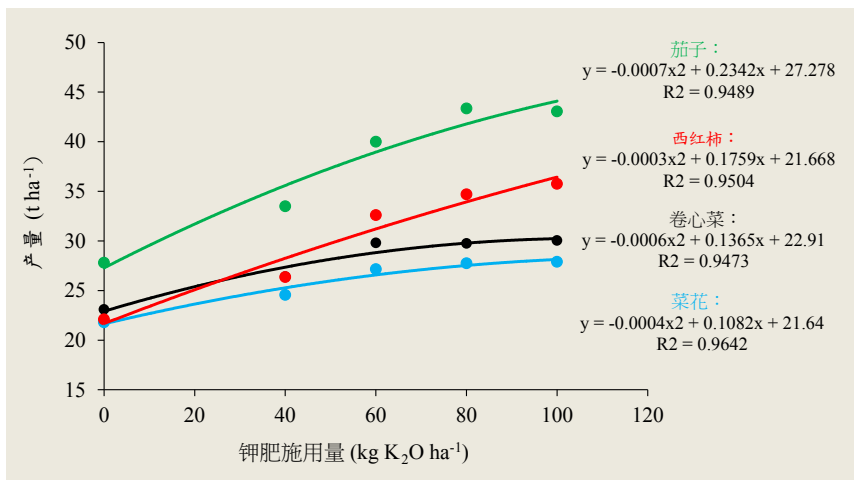


图1 施钾对蔬菜鲜重的影响

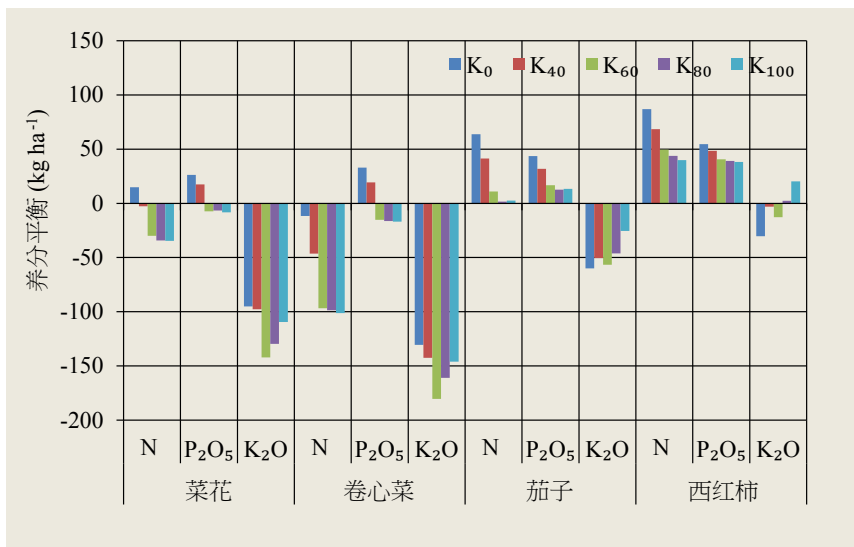


图2 养分平衡

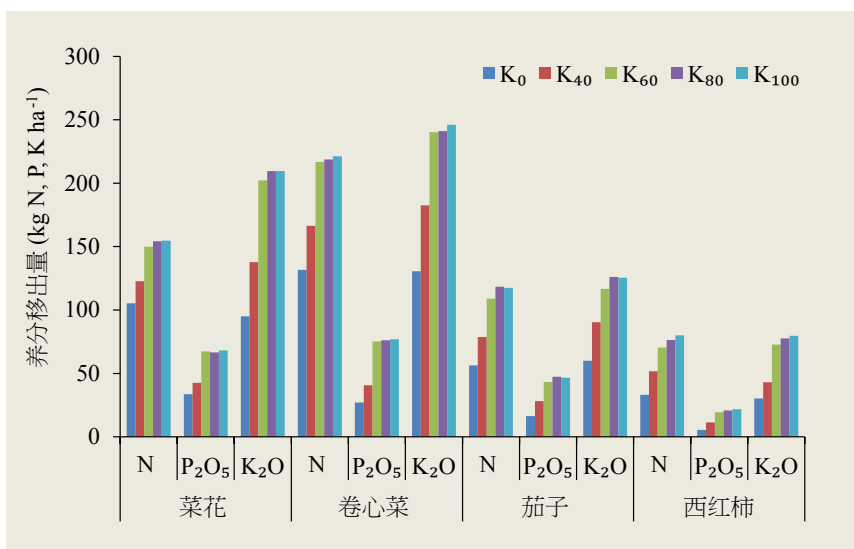


图3. 提高钾肥施用量对作物养分移出量的影响

单的投入吸收平衡关系, 即只改变钾在4种蔬菜中的施用量, 氮磷施用量不变, 研究收获蔬菜中氮磷钾的含量。

材料与方法

试验地安排在印度北方邦湖心平原上, 位于坎普尔钱德拉. 谢卡尔农业技术大学的纳加尔, 卡利安蔬菜研究田。试验于2011-12到2012-13的早春进行, 选用菜花、卷心菜、茄子、西红柿4种蔬菜试验不同的钾肥施用量对其产量及养分吸收的影响。钾肥的施用设计5个处理, 分别是0、40、60、80、100kg K_2O ha^{-1} 。钾肥选择氯化钾, 基施; 氮肥选择尿素, 施用量为120kg N ha^{-1} ; 磷肥选择磷酸氢二铵, 施用量为60kg P_2O_5 。一半尿素和全部磷酸氢二铵基施, 剩余的尿素等分两次进行根外追肥。4种蔬菜各5个处理, 试验设3次重复, 共60个小区, 每个小区面积40m²。

试验开始前随机取耕层(0-15cm)土壤进行理化性质分析。土壤pH 7.3, 碱性土壤, 有机质含量较低, 为0.41%, 碱解氮173.5kg ha^{-1} , 有效磷11.92kg ha^{-1} , 速效钾171.5kg ha^{-1} 。试验过程中所有其他必需的农事操作因时因地进行。作物成熟后, 收获并记录鲜重和烘干的产量。土壤的pH, EC, 有效氮磷钾化验分析参考Jackson (1973) 的方法, 有机质的化验分析应用Walkley and Black (1934) 的方法。蔬菜中的氮用凯氏定氮法, 磷钾先用9:4的硝酸高氯酸消化后进行合理稀释再测定, 其中磷用钼酸盐比色法, 钾用火焰光度法。试验中蔬菜中氮磷钾的含量均表示干物质中的含量。

结果与讨论

产量

如表1和图1所示, 4种蔬菜的产量随钾肥施用量的变化而变化。菜花和茄子在钾肥施用量为0时, 产量最低, 分别为21.8t ha^{-1} 和27.80t ha^{-1} , 然而当钾肥的施用量增到80kg K_2O ha^{-1} 时, 产量分别上升到27.75t ha^{-1} 和43.35t ha^{-1} , 分别增加了27%和69%。钾肥的施用对菜花产量的影响

表 2. 钾肥施用量对不同蔬菜的干物质产量的影响 (2 年的平均数)

钾肥施用量 <i>kg K₂O ha⁻¹</i>	菜花		卷心菜		茄子		西红柿	
	<i>t ha⁻¹</i>							
K ₀	3.71		3.47		1.39		0.88	
K ₄₀	4.17		3.96		1.68		1.05	
K ₆₀	4.62		4.47		2.00		1.30	
K ₈₀	4.72		4.46		2.17		1.39	
K ₁₀₀	4.74		4.51		2.15		1.43	

注: 计算基于菜花、卷心菜、茄子和西红柿的分别为干物质含量分别为 17%、15%、5%和 4%。

表 3. 不同施钾量对蔬菜干物质中养分含量的影响 (2 年的平均数)

钾肥施用量 <i>kg K₂O ha⁻¹</i>	菜花			卷心菜			茄子			西红柿		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	<i>% of DM</i>											
K ₀	2.84	0.40	2.14	3.80	0.34	3.14	4.05	0.52	3.60	4.20	0.27	2.85
K ₄₀	2.94	0.45	2.75	4.20	0.45	3.84	4.70	0.74	4.50	4.90	0.48	3.40
K ₆₀	3.25	0.64	3.65	4.85	0.74	4.48	5.45	0.95	4.86	5.40	0.65	4.65
K ₈₀	3.27	0.62	3.70	4.90	0.75	4.50	5.46	0.96	4.85	5.50	0.66	4.66
K ₁₀₀	3.26	0.63	3.68	4.91	0.75	4.55	5.46	0.95	4.86	5.60	0.67	4.65
CD (P=0.05)	0.08	0.04	0.52	0.35	0.09	0.61	0.58	0.19	0.34	0.45	0.18	0.44

表 4. 钾肥施用量对蔬菜中氮素平衡的影响 (2 年的评价数)

钾肥施用量 <i>kg K₂O ha⁻¹</i>	菜花		卷心菜		茄子		西红柿	
	移出	平衡	移出	平衡	移出	平衡	移出	平衡
	<i>kg N ha⁻¹</i>							
K ₀	105.23	+14.77	131.70	-11.70	56.30	+63.70	33.12	+86.88
K ₄₀	122.74	-2.74	166.35	-46.35	78.70	+41.30	51.64	+68.36
K ₆₀	149.94	-29.94	216.75	-96.75	109.00	+11.00	70.40	+49.60
K ₈₀	154.19	-34.19	218.70	-98.70	118.35	+1.65	76.32	+43.68
K ₁₀₀	154.70	-34.70	221.25	-101.25	117.50	+2.50	80.08	+39.92

注: 计算基于施氮量 120 kg N ha⁻¹

表 5. 钾肥施用量对蔬菜中 P₂O₅ 的移出和平衡的影响 (2 年的平均数)

钾肥施用量 <i>kg K₂O ha⁻¹</i>	菜花		卷心菜		茄子		西红柿	
	移出	平衡	移出	平衡	移出	平衡	移出	平衡
	<i>kg P₂O₅ ha⁻¹</i>							
K ₀	33.72	26.28	27.02	32.98	16.42	43.58	5.47	54.53
K ₄₀	42.64	17.36	40.70	19.30	28.27	31.73	11.49	48.51
K ₆₀	67.44	-7.44	75.24	-15.24	43.32	16.68	19.33	40.67
K ₈₀	66.67	-6.67	76.27	-16.27	47.42	12.58	20.88	39.12
K ₁₀₀	68.22	-8.22	76.95	-16.95	46.63	13.37	21.80	38.20

注: 计算基于施磷量 60 kg P₂O₅ ha⁻¹

生长所需氮的一半, 因此当钾肥施用量高时对卷心菜的产量和营养吸收产生了一个大的氮的负平衡 (图2)。当钾肥施用量为 100 kg K₂O ha⁻¹ 时西红柿的最高产量出现, 比不施用钾肥的最低产量高出 13.65 t ha⁻¹, 增加了 61.76%。图1显示4种蔬菜随钾肥施用量的变化而对产量影响的大小顺序为: 茄子>西红柿>卷心菜>菜花。分析这些已有数据可推断出如果继续增加钾肥的施用量, 即钾肥施用量超过 100 kg K₂O ha⁻¹, 西红柿的产量会随之增加。另外, 4种蔬菜施钾肥的产量均比不施用钾肥的, 高充分证明了土壤中的速效钾是不充分的, 远远不能满足这些蔬菜的生长和成熟。以上提到的产量全是蔬菜的鲜重, 有趣的是随钾肥施用量变化而对蔬菜干重影响大小顺序完全不同于上面提到的鲜重, 而是菜花>卷心菜>茄子>西红柿, 由表2可以看出其最高产量比最低的分别增加了17%, 15%, 5%, 4%。

养分吸收和平衡

由表3可以看出, 4种蔬菜的干物质中氮磷钾含量最低的全部出现在不施用钾肥的处理中, 这进一步证明了虽然土壤中有效钾中等含量, 如果不施用钾肥, 只施用充足的氮磷肥料则会造成植株因钾的缺乏而限制吸收氮磷钾三元素, 同样也证明了这4种蔬菜对钾的大量需求。随钾肥施用量的变化4种蔬菜干物质中钾元素的含量也发生变化, 其中茄子的干物质中钾元素含量明显高于西红柿和卷心菜的, 西红柿和卷心菜中的钾含量相近, 含量最低的是菜花, 比茄子的含量低了25%, 这些不同也一定程度上反映了不同蔬菜对钾元素的需求。此外, 从生理学方面分析, 茄果类 (茄子和西红柿) 蔬菜中钾元素的积累高于

相对较低可能是因为氮元素供应不足导致的 (图2)。卷心菜的产量也是不施用钾肥的最低, 为 23.1 t ha⁻¹, 当钾肥的施用量为 60 kg K₂O ha⁻¹ 时, 产量上升到 29.8 t ha⁻¹, 增加了 29%。由图3可以看出氮的供应严重不足, 仅仅满足卷心菜

叶菜类的蔬菜。4种蔬菜的干物质中钾元素的含量最高的是茄子, 其次是卷心菜、西红柿和菜花, 随钾肥施用量的变化对4种蔬菜的氮磷钾养分吸收和平衡关系如表4、5、6所示, 同样图2和图3也生动的表现了这种关系。由表4可以

表 6. 施钾量对蔬菜中钾素移出和平衡的影响 (2 年的平均数)

钾肥施用量	菜花		卷心菜		茄子		西红柿	
	移出	平衡	移出	平衡	移出	平衡	移出	平衡
$kg\ K_2O\ ha^{-1}$	$kg\ K_2O\ ha^{-1}$							
K_0	95.06	-95.06	130.50	-130.50	60.06	-60.06	30.24	-30.24
K_{40}	137.70	-97.70	182.52	-142.52	90.42	-50.42	43.01	-3.01
K_{60}	202.16	-142.16	240.30	-180.30	116.64	-56.64	72.77	-12.77
K_{80}	209.51	-129.51	241.02	-161.02	126.12	-46.12	77.62	2.38
K_{100}	209.51	-109.51	246.06	-146.06	125.52	-25.52	79.78	20.22

看出在菜花和卷心菜的所有施钾肥处理中显示出氮的负平衡, 说明了氮的缺乏会影响植株生长。由图2和表5可见, 除了在菜花和卷心菜钾肥施用量高时, 所有蔬菜的处理显示磷的正平衡。由图2和表6看出西红柿的所有钾肥处理显示钾的正平衡, 其余3种蔬菜则显示钾的负平衡。图3显示在

所有的蔬菜处理中, 就养分利用率例如增加氮磷的吸收而言, 所有施用钾肥的处理高于未施用钾肥的。

效益和产投比

对农户而言产量的增加与没有风险的效益是不一样的, 最终的效益需要把增施钾肥所需要花费从增

加的收入中扣除掉。产投比 (BCR) 则是通过增加的效益和投入 (这里是指氯化钾的花费) 之间的比值反映风险, 这些如纯效益 (USD ha^{-1}) 和产投比 (BCR) 因素正是农户种植所需要考虑的。表1和图4显示了4种蔬菜施用钾肥而产生的纯效益, 茄子和西红柿的纯效益较高, 分别为2583 USD ha^{-1} 和2275 USD ha^{-1} , 而菜花和卷心菜的仅为茄子和西红柿的一半。茄子和西红柿不仅效益高, 数据显示产投比也高, 全超过50, 而菜花和卷心菜的产投比较低, 为30-40。试验中当钾肥的施用量为60 $kg\ K_2O\ ha^{-1}$ 时, 所有蔬菜的产投比出现最高值, 这对推荐钾肥的施用量非常有用, 此时产投比高, 农户种植经济风险小, 可计算出增加的纯效益。

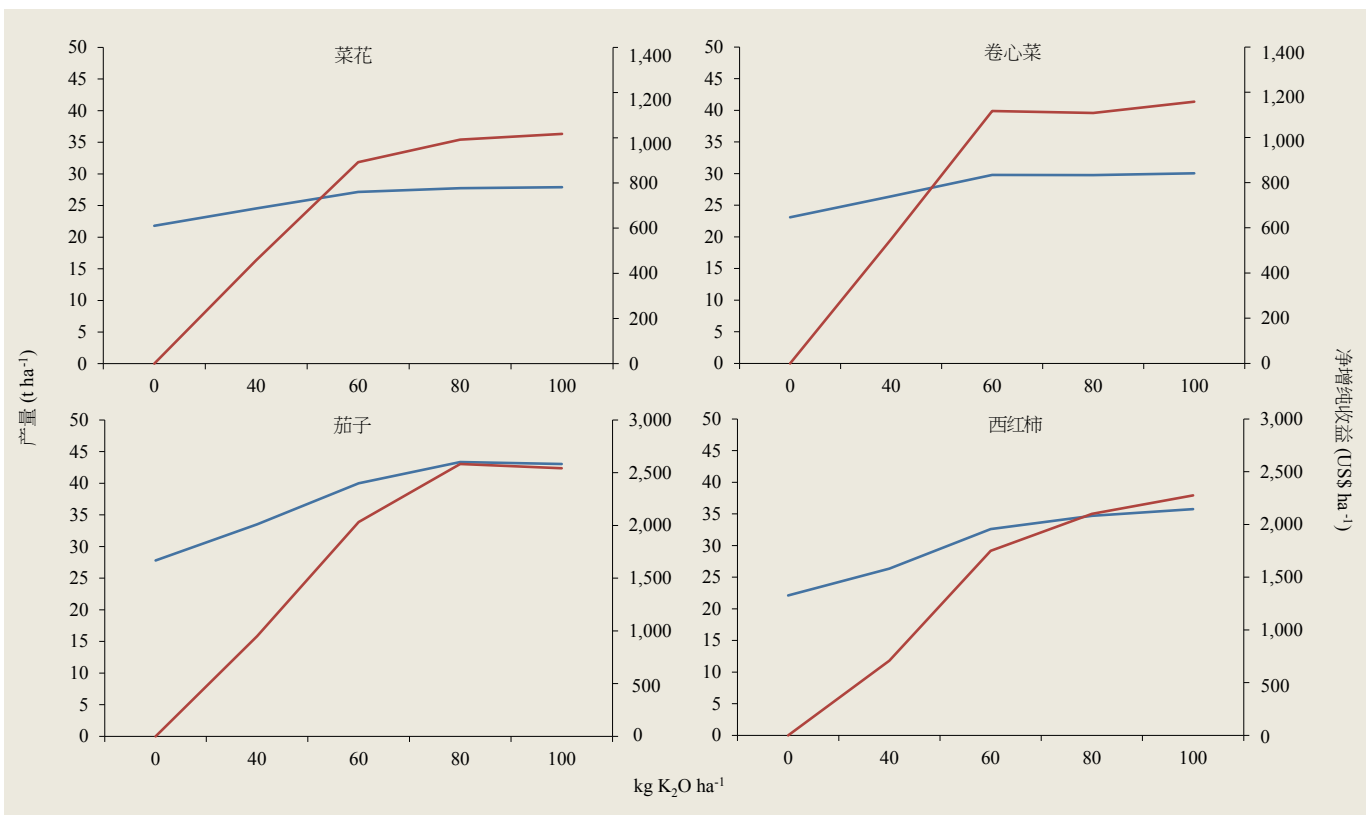


图4. 不同钾肥用量对蔬菜鲜重 (蓝色) 和净收入的影响

结论

2年来通过在菜花、卷心菜、茄子、西红柿4种蔬菜上增施钾肥(氯化钾)的试验可知,当钾肥施用量为80-100kg K_2O ha^{-1} 时,茄子和西红柿的产量明显增加,纯效益达到最大,为2000 USD ha^{-1} 。当钾肥施用量为60-80kg ha^{-1} 时,菜花和卷心菜的产量明显增加,纯效益达到最大为1000 USD ha^{-1} 。大量数据显示在钾元素供应中等水平的地块上,4种蔬菜均表现出了对钾元素的大量需求,需要增施化肥补充。钾肥的施用量增加时,必需保证土壤中氮的含量处于一个合适的水平,以避免因为氮的缺乏造成蔬菜产量停滞不增长。今后还需要做更多的试验完善氮钾肥施用的量以减少或者消除氮钾营养负平衡和可能的肥料损失。根据产投比,即计算化肥的花费和作物的收入,可知钾肥的施用风险小,应该大面积推广。

感谢

本研究得到了瑞士国际钾肥协会的资金支持,同时非产感谢印度钾肥研究所主任S.K.Bansal博士在试验中给予的指导和帮助。

参考文献

- Cakmak, I. 2005. The Role of Potassium in Alleviating the Detrimental Effects of Abiotic Stresses in Plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168:521-530.
- Jackson, M.L. 1973. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall of India Pvt. Ltd., New Delhi, India. p. 187.
- Marschner, P. (ed). 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd edn. Academic Press, Elsevier Ltd., London, UK.
- Mengel, K., and E.A. Kirkby. 2001. *Principles of Plant Nutrition*. 5th edn. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands; Springer.



试验地田间写有试验设计的标志牌。摄影: E.Sokolowski.

- Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe, and L.A. Dean. 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils of Extraction with Sodium Bicarbonate. *USDA* 93:9-19.
- Pathak, R.K., T.P. Tiwari, and K.N. Tiwari. 1999. Effect of Potassium on Crop Quality in Uttar Pradesh. *In: Use of Potassium in Uttar Pradesh Agriculture; Proceedings of workshop*. p. 112-113.
- Singh, J.P., S. Singh, and V. Singh. 2010. Soil Potassium Fractions and Response of Cauliflower and Onion to Potassium. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 58:(4)384-387.
- Subbiah, B.V., and G.L. Asija. 1956. A Rapid Procedure for the Estimation of Available Nitrogen in Soil. *Current Sci.* 25:259-260.
- Walkley, A., and I.A. Black. 1934. An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Sci.* 37(1):29-38.

本文“印度北方邦湖心平原蔬菜地块不同用量钾肥对蔬菜产量、效益及营养成分的影响”也可以访问IPI官方网站浏览下载：[区域活动/印度](#)。