◆国外动态◆

印度过磷酸钙的生产应用现状和国家推广行动

李　博

（中国磷复肥工业协会，北京　100013）

［摘　要］过磷酸钙含有磷、硫和钙等元素，是一种加工工艺简单、养分全面、价格低廉的肥料，曾是印度乃至全球最早工业化的化肥品种。随着高浓度磷肥的推广，印度过磷酸钙的产量占比逐渐下降，为了应对国际原料价格和磷肥产品价格不断上涨、减少对其他磷肥品种的进口依赖，印度政府近年来推出多种政策提高过磷酸钙的质量、生产效率和消费量。介绍印度过磷酸钙的发展历史、产品标准、产能、产量、生产布局、消费、政策等，希望对国内过磷酸钙产业转型和推广有所启发。

［关键词］印度；过磷酸钙；产能；生产；消费；政策

［中图分类号］F416.72　　［文献标志码］A　　［文章编号］2097-4566（2025）01-0124-05

Production and application status and national promotion action of SSP in India

LI Bo

（*China Phosphate and Compound Fertilizer Industry Association*, *Beijing* 100013, *China*）

Abstract: SSP contains elements such as phosphorus, sulfur and calcium. It is a fertilizer with simple processing technology, comprehensive nutrients and low cost. It was once the earliest industrialized fertilizer variety in India and even the world. With the promotion of high concentration phosphate fertilizer, the proportion of India's domestic SSP production has gradually declined, in order to cope with the rising price of international raw materials and phosphate fertilizer products, to reduce the import dependence on other phosphate fertilizer varieties (such as DAP and NP/NPK compound fertilizer), the Indian government has introduced a variety of policies in recent years to improve the quality, production efficiency and consumption of SSP. The development history, product standards, production capacity, yield, production layout, consumption, policies and other aspects of SSP in India are introduced in detail, hoping to provide inspiration for the transformation and promotion of SSP industry in China.

Key words: India; single superphosphate (SSP); capacity; production; consumption; policy

过磷酸钙（SSP，以下简称普钙）是由磷矿粉（浆）和工业硫酸直接混合反应制得的一种低浓度磷肥，主要成分为一水合磷酸二氢钙（$Ca(H_2PO_4)_2·H_2O$）和无水硫酸钙（$CaSO_4$）。相比其他高浓度磷肥，普钙生产工艺简单，可以小规模生产以满足区域需求，产品中除了磷元素外，还提供硫和钙两种中量元素，且反应后不产生副产品磷石膏，不存在磷石膏堆存带来的环境风险问题，是一个环境效益和农艺效果优良的磷肥品种。1960年以前SSP一直是非常受欢迎的磷肥品种，其后高浓度磷肥发展壮大，取代SSP成为全球主导产品，SSP的产量和占比逐步减少，目前全球仅个别国家将普钙作为主要磷肥品种使用。

印度是全球最大的磷肥进口国，超过90%的生产原料（磷矿石、磷酸和硫酸）和磷肥产成品（主要是磷酸二铵、NP/NPK复合肥等）需要通过进口得到满足，普钙作为印度本土产品，在磷肥消费中的占比逐渐降为10%左右，远低于磷酸二铵（DAP）约60%的消费比例。近年来疫情叠加地缘冲突造成国际市场硫黄、磷矿等原料和DAP等磷肥产品价格波动加剧，印度政府再次意识到提高本土SSP产量以降低磷肥进口量的重要性，并将之作为重要政策，采取系列行动提高SSP的生产率和产品质量。笔者收集翻译了印度SSP的生产、推广、使用、政策等方面的有关情况，希望对国内磷肥生产应用、行业管理和政策制定有所启发。

［收稿日期］2024-09-19

［作者简介］李　博(1981-)，女，河南长垣人，博士，主要从事全国磷复肥经济运行分析以及植物营养和肥料研究。

1　普钙的发展历史

磷是人体必需的营养物质和农作物正常生长所需的三大元素之一，SSP是世界上应用最早的商业肥料（磷肥），在19世纪以前，磷元素主要来自屠宰动物的骨粉，然而其溶解性不高，无法为农作物提供充足的磷源保障。1840年，德国吉森大学的化学教授尤斯图斯·冯·李比希（Justus von Liebig）撰写了《植物矿物营养理论》。他解释植物以两种形式吸收磷，即无机离子或者矿物质形式，特别建议使用硫酸处理过的骨粉，其效果好于未经处理的骨粉，原因是酸处理后增强了骨粉中磷的有效性。无机酸分解骨粉并释放出可被植物吸收的磷酸盐这一理论促成了磷肥概念的接受和发展，李比希教授也因此被认为是SSP的发明者和“化肥工业的创始人”。后来，他还成功将相同的化学反应应用于磷矿，并发现磷的溶解度更高。1842年，约翰·班纳特·劳斯将这一工艺发展到工业规模，他在英国的洛桑农业实验站使用由鸟粪和含磷的动物粪便混合而成的粪石生产过磷酸盐，此后不久申请用硫酸酸化含磷材料的工艺专利，并于1843年开始在英国商业化生产。现代肥料工业从此开始，人们将硫酸添加到天然磷酸盐中，磷矿作为磷源很快取代了动物骨骼，这种方法生产出的优良可溶性肥料以过磷酸钙的名称销售。随后，1855年德国也生产出了超磷酸盐，1860年瑞典建立了第一家工厂，工艺与约翰·班纳特·劳斯的方法相同，SSP开始成为大多数国家生产的第一种化肥。一个多世纪以来，SSP生产技术几乎没有改变，制造简单且原料容易获取，目前主要的SSP生产国是巴西、印度、中国、埃及、澳大利亚、新西兰和巴基斯坦。

2　印度的普钙产业概况

2.1　产品标准

印度《肥料（管制）令》（FCO）中明确了SSP的质量参数，SSP的有效五氧化二磷质量分数为16%（水溶性磷质量分数为14.5%），并含有质量分数11%的硫（S）和质量分数21%的钙（Ca）。我国普钙标准为GB/T 20413—2017，无论疏松状普钙还是粒状普钙，有效五氧化二磷质量分数都在12%～18%，其中合格品为12%或者14%，一等品为16%，优等品为18%；硫的质量分数≥8%，对钙不做要求。

2.2　产能

印度SSP生产始于1906年，通过扩建和新建不断增加产能。印度肥料生产运行统计不是按公历年计算，而是以当年4月初至下年3月底作为肥料年。早在1950年其国内SSP的产能（实物，下同）仅为12.8万t/a，1980年增加到160万t/a，1990年达到520万t/a，此后由于相关政策推动和产品本身的农艺优点，SSP产能继续增长，2022年达到了1 225万t/a。

目前印度国内约有102家SSP工厂，其中93家在正常运行，其余9家处于闲置或关闭状态，2022年实际有效产能为1 138万t/a。

2.3　产量和占比

1951年印度SSP的产量仅为6.13万t，20世纪70年代中期，由于石油危机，国际化肥价格急剧上涨，印度政府鼓励投资国内肥料生产，通过定价和补贴减少对进口的依赖，随着这一政策的实施，SSP产量也从1975年的46万t增加到1978年的108万t，1990年达到365万t。1992年，印度对所有磷肥和钾肥的价格放开管制，加上对SSP的补贴相对较低，SSP价格高于其他磷肥，产销受到严重抑制。直到2008年，硫元素被纳入补贴定价政策，2009年SSP的产量突破300万t，此后2010年5月1日起，SSP产品开始享受NBS（养分补贴）政策，微量元素锌和硼也在养分补贴范围内，SSP的产量进入快速增长期，2011—2019年，SSP年产量在391万～443万t/a波动。2020年疫情开始后，印度SSP产量进入第二个快速增长周期，2020年、2021年和2022年SSP的产量同比分别增加15.8%、8.9%和5.5%，并于2022年达到产量顶峰565万t（见图1），当年产能利用率为49%。

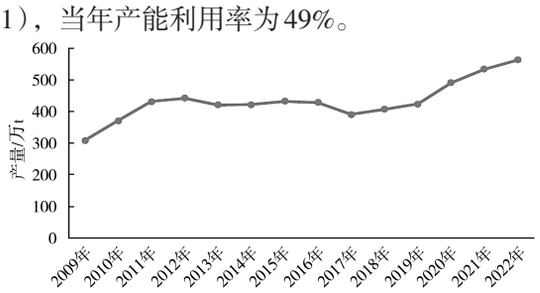


图1　2009—2022年印度SSP产量

Fig. 1　SSP production in India since 2009 to 2022

在20世纪50年代，印度的磷肥只有SSP单一品种，SSP的折纯产量占磷肥总产量的100%。其后占比呈波动下滑状态，1970年占比43.0%，2008年占比下降至11.3%；2010年NBS补贴政策实施后，产量占比有所提升，2021年和2022年产量占比连续2年维持在18%。

2.4　生产布局

印度SSP生产企业遍布全国，少部分靠近港

口，大多数工厂在内陆地区。就生产地域而言，2022年印度共有14个邦生产SSP，分别为安得拉邦、阿萨姆邦、比哈尔邦、恰蒂斯加尔邦、哈里亚纳邦、卡纳塔克邦、中央邦、北方邦、马哈拉施特拉邦、古吉拉特邦、拉贾斯坦邦、泰米尔纳德邦、特伦甘纳邦和西孟加拉邦。其中拉贾斯坦邦、中央邦、马哈拉施特拉邦、古吉拉特邦和西孟加拉邦产量位列前五，拉贾斯坦邦和中央邦产量均超过100万t，这5个邦的SSP产量占印度全国总产量的82.7%；阿萨姆邦、比哈尔邦和特伦甘纳邦的总产量占比不足1%。

2.5　产品形态和结构

从形态看，印度SSP产品既有粉末也有颗粒的形式，市场销售以颗粒为主。据印度肥料协会数据显示，2003—2022年，粒状SSP的产量从16.9万t/a增加到297万t/a，生产企业由12家增加到73家；2022年，颗粒SSP的产量占SSP总产量的比例为52.5%。

从产品结构看，印度鼓励通过添加中微量元素的方式对普钙产品进行增效，对添加硼（B）或者锌（Zn）的肥料给予额外补贴300卢比/t和500卢比/t，刺激了单一添加或者复合添加的增效普钙产品生产。加锌普钙（Zn–SSP）的产量由2017年的8.12万t增加到2022年的169万t，其中2022年Zn–SSP的产量占当年SSP总产量的30%；复合添加锌、硼的粒状普钙（ZnB–SSP）产量也有明显增加，从2018年的1.09万t增加到2022年的64.3万t，2022年ZnB–SSP产量占SSP总产量的11%；由于硼的补贴相对较少，加硼普钙（B–SSP）的产量增幅不明显，生产企业也相对较少。除了锌和硼等中微量元素外，印度市场正在鼓励推广尿素–普钙复合肥料，含镁、锌和硼的粒状SSP，以及添加锌、铁和硼的SSP新品种。

3　印度普钙的销售、消费情况

3.1　全球消费量

据报道，全球年均消费SSP约2 100万t，普钙消费量最高的国家为巴西，年消费量达700万t以上[1]；印度是全球第二大普钙消费国，年消费量超过500万t。全球年消费量超过100万t的国家还有中国、新西兰、澳大利亚，另外阿根廷、津巴布韦、埃及也有35万～50万t/a的消费量。

3.2　印度消费量和消费占比

目前印度国内化肥销售采用DBT模式，即零售商通过POS设备销售发放化肥给农民，这种模式从2018年3月生效。自2019年开始，DBT销售量被认定为肥料的消费量。据印度国内报道，2009年SSP的消费量为265万t，2010年NBS政策执行后，SSP的消费量显著提高，并在2021年达到历史高点568万t，2022年有所回调，但仍然大于500万t（见图2）。

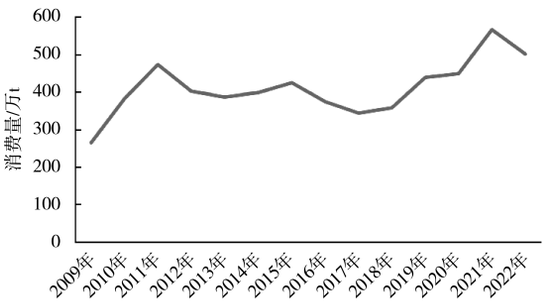


图2　2009—2022年印度SSP消费量

Fig. 2　Consumption of SSP in Indian since 2009 to 2022

从2009年到2022年的14年间，印度SSP消费量的年复合增长率达6.5%，但SSP在印度国内磷肥消费量（折纯）的占比呈下降态势（见表1）。主要原因是高浓度磷酸二铵和氮磷/氮磷钾复合肥的用量持续增加。据有关机构统计，2021年全球普钙消费量占磷肥总用量的比例为6.6%，印度为12%，巴西为17.6%，澳大利亚为14.8%；将普钙作为主导磷肥品种，使用占比超过50%以上的国家仅有津巴布韦、埃及和新西兰。

表1　1951年以来印度SSP消费量占比

Table 1　Proportion of SSP consumption in India since 1951

年份	SSP在磷肥消费总量（折纯）的占比/%	年份	SSP在磷肥消费总量（折纯）的占比/%
1951	100	2001	10
1961	46	2011	10
1971	22	2021	12
1981	14	2022	10
1991	15		

3.3　各邦消费情况

在各邦的消费占比中，主要生产邦马哈拉施特拉邦、中央邦、拉贾斯坦邦、西孟加拉邦也是前四大消费邦。其中，马哈拉施特拉邦消费量占总消费量的21.7%，排名第一；其次是中央邦（20.2%）、拉贾斯坦邦（10.8%）、西孟加拉邦（9.3），这四邦的消费占比为62%；产量排名第四的古吉拉特邦，消费占比为3.4%，前五名生产邦的消费量占全国的65.4%。就具体品种的消费而言，2022年Zn–SSP和B–SSP的总销售量分别为165.32万t和4.78万t，分别占总消费量的32.9%和1.0%，ZnB–SSP的销售量为63.78万t，销售占比为12.7%。

4　印度普钙的产业政策和NBS下普钙的补贴率

4.1　普钙的产业政策

印度政府认为，SSP价格低廉，兼具成本效益和多种营养元素，是农民消费得起的大众肥料，政府希望通过提升SSP的产销量来降低印度对海外磷肥如DAP和NP/NP复合肥的进口。印度政府制定了多项政策和措施来鼓励推广SSP的使用，包括补贴、价格管控、运输优惠等，详见表2。

表2　印度SSP的政策

Table 2　Policies of SSP in Indian

政策	内容
基于五氧化二磷每吨的固定补贴	在20世纪70年代，由于生产/进口成本增加，化肥和原材料的价格在国际市场上急剧上涨，印度政府于1976年3月17日起对每吨五氧化二磷引入1 250卢比的补贴
保留价格方案(RPS)的引入	1977年11月，针对氮肥(氯化铵除外)引入了RPS方案，1979年2月针对复合肥引入了该方案。1982年5月，SSP纳入保留价格方案
价格放开和特别优惠	根据肥料定价联合(议会)委员会的建议，包括SSP在内的所有磷钾肥料的价格、流通和分配从1992年8月25日起放开管制。宣布了特别优惠以部分补偿放开管制的化肥成本增加，不同类型的肥料有不同的优惠率，从1992—1993年的Rabi季对各类肥料生效，从1993年的Kharif季对SSP生效
成本核算部门(CAB)报告和价格控制	2004年4月的成本核算部门报告建议中央政府确定SSP的最高零售价格，并每3年进行一次新的成本研究。报告提议根据公式每季度或每半年进行定期价格审查，并强调透明度。建议生产单位根据经成本会计师认证的实际投入成本计算公平价格，并提交给政府。还建议制定一个有时限的方案，以便各邦迅速颁发证书
修订优惠方案和基于养分的补贴(NBS)政策	自2008年5月1日起实施了SSP的修订优惠方案，其中包括由中央政府而不是邦政府在全国范围内确定统一的最高零售价格。自2008年6月1日起，对于含硼过磷酸钙，制造商被允许收取高于过磷酸钙最高零售价格10%的费用；对于含锌过磷酸钙，允许高出5% 政府决定自2009年10月1日起放开过磷酸钙的销售价格，不再采用每吨3 400卢比(粉状)和每吨3 800卢比(粒状)的最高零售价格，引入了2 000卢比/t的特别优惠。普钙基于养分的补贴政策自2010 年5月1日起实施，对养分P和S有固定的补贴率，并根据1955年《基本商品法》规定了流通控制条款
运费补贴和过磷酸钙行业指南	政府在试点基础上为过磷酸钙引入了运费补贴制度，但需满足一定条件。修订了过磷酸钙的综合指南，包括基于养分补贴政策下的企业资格标准、最低产能利用要求、原材料磷矿的采购要求、质量控制措施和出口规定等

4.2　NBS下普钙的补贴率

正在执行的NBS政策广受关注，与每年SSP的生产量、消费量以及海外磷肥进口量密切相关。NBS是基于养分的补贴政策，因为印度大部分原材料/成品肥料都来自进口，为了确保农民用得起肥料且免受国际市场价格波动的影响，印度政府对肥料设置最高零售价格（MRP），生产商或者进口商以远低于这些肥料实际生产成本的最高零售价格（MRP）向农民供应肥料，实际生产/进口成本与销售价格之间的差额由政府以补贴的形式补偿给生产商或者进口商。印度政府根据每千克氮、磷、钾和硫养分的补贴率，每年或定期确定磷酸二铵、氯化钾、氮磷钾复合肥、普钙等产品每吨的补贴率，补贴率会根据国际肥料价格、原材料价格、肥料的供需情况等因素动态调整。

自2010年5月1日起普钙被纳入NBS政策范围，其补贴为4 400卢比/t，2011年增加到5 359卢比/t。在随后的几年中，除了2018年和2019年这两年外，普钙的补贴率一直稳中下降。自2020年开始，由于国际市场原材料价格大幅上涨，补贴从2020年的2 643卢比/t空前调涨到2021年的7 513卢比/t。尽管NBS政策对磷养分的补贴随后增加，但SSP在2022年之前保持7 513卢比/t不变。2023年开始全球磷肥价格出现下滑，印度NBS下调对磷的补贴率，随之2023年Kharif季SSP的补贴也从7 513卢比/t降至6 872卢比/t，2023年Rabi季SSP的补贴进一步降至3 540卢比/t。2010年以来过磷酸钙补贴率的年度变化如图3所示。

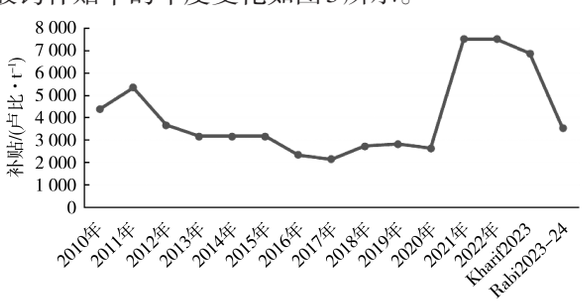


图3　2010—2023年印度NBS框架下SSP补贴率

Fig. 3　SSP subsidy rate under the NBS framework in India since 2010 to 2023

5 印度普钙产业存在的问题

在印度超过58%的农村家庭以农业作为主要的生计来源，农业在GDP中的占比超过18%，是印度经济的支柱，而化肥行业一直是印度农业的支柱。为了实现自力更生，印度提出要在化肥生产和供应方面逐步实现自给自足，在磷肥板块期望释放SSP的潜力来替代进口磷肥。政府一是支持印度肥料协会设立特别工作小组，推动普钙产品质量达标和在全国宣传推广普钙的使用；二是从原料端入手，限定进口磷矿原料等级，确保磷养分达标；三是为产业发展提供各种补贴。目前来看，通过其政府和行业的持续努力，已取得了一些积极成果，2022年印度普钙生产达到峰值，且当年实现最大产能利用率49%，但这一数字还远低于国际公认的80%的经济合理开工数据，限制产量进一步提升的问题主要如下：

（1）产品质量差和消费习惯扭转困难。与其他磷肥相比，过磷酸钙的质量和成本一直是制约印度农民大规模使用该产品的主要因素。在过去数年中SSP由于质量问题声誉不佳，在农民心中留下低端、养分不足的劣质产品印象，损害了整个过磷酸钙行业的形象。重新赢得信任，并将使用高浓度磷铵的习惯调整为使用普钙需要相当长的时间。

（2）原料磷矿进口限定和生产成本问题。生产成本是限制SSP生产使用的又一重要因素。印度国内磷矿资源不足，SSP生产企业需要自海外大量进口磷矿，为了确保产品中的磷含量满足产品标准，2022年新出台的SSP的综合指导方针要求使用$w(P_2O_5)$ 29.5%以上的磷矿作为生产原料。高品位磷矿国际货源少、价格高，且近几年国际市场价格波动较大、物流运输存在风险，NBS养分补贴政策不足以弥补国际价格波动导致的企业损失，高品位磷矿作为原料也导致生产成本过高，既影响企业生产积极性，也难以保持价格竞争力。

（3）政策公平和稳定性问题。尽管SSP已经享受到了NBS政策与货运补贴、自由设定零售价格等政策，但政策的公平性和稳定性受到诟病，比如货运补贴不利于内陆企业，港口附近的工厂可同时享受进口运费和出口运费补贴，内陆地区的工厂需要承担更高的运费；还有NBS补贴规则下SSP的补贴少于DAP且继续减少，申请标准提高。印度政府从2023年10月起将每吨SSP的补贴从6 872卢比减少到3 540卢比，同时还要求从2024年起补贴申请企业年产量必须超过5万t；另外，政策频繁调整、对进口磷矿和普钙产品进行重复质量抽检等问题也对生产企业造成困扰。

目前其业内正在呼吁调整优化政策，比如灵活选择磷矿石原料等级，允许低浓度普钙的生产销售、实现NBS养分补贴和运费补贴公平、开发SSP增效新品种、在沿海设立SSP产业园区等来进一步激发SSP行业潜能，提高过磷酸钙的产量和消费量。

6 对我国普钙产业转型发展的启示

我国磷肥产业同样自低浓度普钙起步，1955年普钙产量（折纯）0.1万t，是当时仅有的磷肥品种，1998年产量（折纯）达到顶峰426.3万t，在磷肥总产量中的占比为64%；2000年后高浓度磷肥迅速发展，普钙快速萎缩，2023年统计显示普钙产量占比降为2.6%。高浓度磷肥的发展和应用，为提升我国农产品供给能力做出巨大贡献，但多年来的大量使用也造成土壤磷素富集、肥料与农作物需求不匹配、磷肥利用效率低等问题。面对绿色发展需求，磷复肥品种、结构和产量规模都需要梳理和重新定位。普钙虽然磷的含量较低，但具备高浓度磷肥无可取代的优势，能改良土壤，能直接使用国内的中低品位磷矿且无磷石膏排放，硫、钙、镁等中微量元素能显著提高农作物的品质和抗逆性，是不可或缺的优良磷肥品种。近年来中国磷复肥工业协会、农业科研院所的土肥专家已多次呼吁要稳定普钙生产，在缺硫和盐碱土壤，花生、水稻和油菜等农作物上加大推广使用。

目前普钙产业的主要问题是公众认知和销售环节只计价单一磷养分，忽略硫、钙、镁等中微量元素的价值，造成产品售价低、经销商利润薄、长距离运输经济性差，终端销售推广积极性不高；另外污染较大，熟化过程中无组织排放，对氟的回收相对不足。通过了解印度普钙的国家推广行动，可以给行业带来一些启发：一是重视并体现中微量元素的价值，在定价和销售环节予以体现；二是在环保达标的前提下，生产企业应加快产品创新升级和增效；三是政府在宣传推广中发挥主导作用，指导农民根据土壤特性和具体农作物种类，科学选择磷肥品种。

［参考文献］

［1］ 李博.巴西化肥市场概况和需求展望[J].磷肥与复肥,2024,39(1):1-6.
LI B. Brazil fertilizer market overview and demand outlook[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2024, 39(1): 1-6.