



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eng



Research
Agricultural Engineering—Perspective

发展非洲大豆产业，保障中非粮食安全

Vincent Ninkuu^{a,c}, 韩天富^{a,c,*}, Felix D. Dakora^{a,b,*}

^a National Nanfan Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Sanya 572000, China

^b Chemistry Department, Tshwane University of Technology, Pretoria 0001, South Africa

^c Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 October 2024

Revised 13 February 2025

Accepted 5 March 2025

Available online 14 March 2025

关键词

大豆生产
结瘤与固氮
品种改良
中非贸易
国际合作

摘要

2023年，全球对华大豆贸易总量达到9941万吨，而非洲并无任何份额。非洲具有广袤的耕地资源，发展大豆产业的潜力巨大，这有助于提升粮食安全水平、创造就业岗位，并有望使其成为对华主要出口地区之一。大豆的生长状况和产量与结瘤固氮作用以及光温效应紧密关联。非洲土壤中缺乏大豆结瘤固氮所需的土壤细菌，成为大豆种植的主要限制因素。不过，研究人员通过杂交培育出可与非洲本地根瘤菌共生固氮的广谱结瘤大豆品种。同时，通过实验室研究与田间试验，已挖掘并验证了多个受光周期调控的基因，成功解决了限制非洲大豆生产的光温制约难题。尽管如此，非洲实现规模化大豆生产仍需中非科学家同心协力，推动科学、技术及创新(STI)的深度融合，实现生物研究材料的便捷转移和交换。本文旨在探寻推动非洲大豆增产及加强中非贸易往来的机遇，提升粮食安全保障水平、推动经济增长、提高非洲大陆国内生产总值(GDP)、降低失业率以及通过创造就业机会更有效地缓解贫困状况。此外，本文还探讨了在《中非合作论坛北京行动计划(2025—2027)》以及由中国农业科学院和非洲科学院共同推进的中非农业科技创新联盟(CAASTIA)框架下，非洲大豆生产可从中非科技与创新合作中获取的收益。

© 2025 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. 引言

大豆[*Glycine max* (L.) Merr.]作为一种豆科作物，具有多种营养特性，如富含蛋白质(40%)、碳水化合物(25%)、油脂(20%)、膳食纤维(10%)、矿物质(4%)以及生理活性物质(1%) [1]，对人类营养与健康至关重要。大豆榨油后所剩的豆粕富含蛋白质，亦是畜牧业的优质饲料来源。由于其多种用途，大豆占全球农产品贸易额的10%以上。巴西、美国和阿根廷是大豆的主要生产国，中国是主要消费国，2023年中国大豆进口量达9941万吨[2–3]。

非洲是全球粮食安全最为严峻的区域。然而，超过65%的非洲土地属于未开垦耕地(4.45亿公顷[4–5])。通过扩大大豆生产规模，非洲不仅能够实现粮食自给自足的目标，还可将剩余大豆出口至中国等主要消费市场。但在全球范畴内，新引进的作物往往会遭遇诸多挑战，包括生物与非生物因素的影响以及对作物相关知识的欠缺等问题。在非洲，多数小规模农户普遍缺乏正规教育和(或)现代技术培训，这会严重影响农业现代化所依赖的新技术的推广和应用。

此外，引入的豆科作物(如大豆)在新环境中可能遭

* Corresponding authors.

E-mail addresses: hantianfu@caas.cn (T. Han), DakoraFD@tut.ac.za (F.D. Dakora).

2095-8099/© 2025 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

英文原文: *Engineering* 2025, 49(6): 272–278

引用本文: Vincent Ninkuu, Tianfu Han, Felix D. Dakora. Development of the Soybean Industry in Africa: Safeguarding Food Security in Africa and China—A Perspective. *Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.eng.2025.03.008>

遇生物逆境。例如，土壤中是否存在充足、高效且具竞争力的本土固氮根瘤菌，会对引入豆科作物的结瘤固氮效应产生影响，进而影响其氮素营养供应。尽管可借助生物接种剂解决土壤中缺乏亲和根瘤菌的问题[6]，但微生物学知识的欠缺仍制约着非洲大豆生产的发展。本研究旨在探寻提升非洲大豆产量的契机，以保障粮食安全、缓解贫困状况，同时推动中非大豆贸易、创造就业机会、提高非洲国家国内生产总值（GDP），并拓宽中国大豆进口渠道。

2. 非洲大豆种植史

根据 Giller 和 Dashiell [7] 的研究，大豆于 19 世纪通过东非走廊由中国商人引入非洲。1903 年，南非首次记录了大豆的种植[8]，随后尼日利亚（1908 年）、马拉维和坦桑尼亚（1909 年）、加纳和苏丹（1910 年）也相继开始种植大豆[9]。到 1912 年，大豆已遍布非洲大陆。人们发现大豆的营养价值可缓解儿童、孕妇及哺乳期母亲的蛋白质营养不良等问题[10]，大豆种植面积逐渐扩大。在非洲地区，大豆被广泛应用于人类食品供应以及动物饲料生产领域，其工业用途还涵盖了生物燃料制造。与此同时，大豆借助生物固氮作用以及污染物去除功能，对维持土壤健康发挥了积极作用，有力地促进了可持续作物生产[11–15]。上述因素共同推动了大豆作为农作物在非洲的推广与应用。

鉴于产量相对较低且生产国数量有限，非洲大豆生产规模长期以来处于较低水平，在市场中缺乏竞争力。当前，南非为非洲最大的大豆生产国，2023—2024 年产量达 178 万吨；其次为尼日利亚（115 万吨）、赞比亚（48 万吨）和乌干达（20 万吨）；马拉维、加纳和埃塞俄比亚的产量均低于 20 万吨。2015—2017 年间，非洲大豆产量仅占全球总产量的 0.78% [16]，这一数据显示出非洲大豆生产具备较大的发展潜力。

非洲在全球大豆种植量方面的贡献较低，这一现象与单产水平较低有关。例如，2022—2023 年，美国大豆的平均单产达到 $3.33 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，而非洲的大豆单产却不足 $1.50 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ [17]。非洲大豆单产水平较低主要是由生物与非生物因素影响、管理水平欠佳、结瘤固氮不足、采用低产品种以及因气候变化引发的降水不稳定等因素所致。因此，若要在非洲推动商业化大豆生产，首要任务是解决这些制约性因素。非洲大陆的研究人员与政策制定者——特别是在《中非合作论坛北京行动计划（2025—2027）》的助力下——正积极致力于加快非洲农业现代化进程，推动农业合作与技术转移，强化中非之间的科技合作与知识共享[18]。

3. 非洲商业化大豆生产的结瘤限制

鉴于非洲具备广袤的农业用地，发展大豆生产以及对出口有望成为非洲参与全球大豆贸易的关键领域。然而，一些生物限制因素对非洲大豆生产造成阻碍，其中包括大豆根系结瘤效果欠佳以及根瘤菌固氮作用受到限制。土壤中此类细菌的匮乏、相容菌株的竞争力以及固氮效率均会对非洲大豆生产造成不利影响。

与所有结瘤豆科植物一样，大豆的氮素需求主要通过特定固氮细菌形成共生关系来满足，这些细菌包括埃坎尼慢生根瘤菌（*Bradyrhizobium elkanii*）、日本慢生根瘤菌（*Bradyrhizobium japonicum*）[19]、费氏中华根瘤菌（*Sinorhizobium fredii*）、天山中生根瘤菌（*Mesorhizobium tianshanense*）[20]和辽宁慢生根瘤菌（*Bradyrhizobium liaoningense*）[21]。该共生关系存在于 88% 的豆科植物中，大约于 5800 万年前形成[22–23]。结瘤过程涉及宿主植物与细菌共生体之间的信号互动：豆科植物释放类黄酮分子，作为化学引诱剂与结瘤基因诱导剂吸引相兼容的细菌；细菌则以脂壳寡糖分子和 III 型效应子的形式产生结瘤因子，促进根毛感染，最终形成根瘤[24–25]（图 1）。根瘤中类菌体通过共生固氮作用生成氨（ NH_3 ），并与宿主豆科植物进行碳水化合物交换，从而使豆科植物无须依赖土壤氮素或矿物氮肥即可正常生长。

在历史进程中，中国、美国、巴西以及阿根廷等主要大豆生产国的大豆结瘤均依赖日本慢生根瘤菌[19]，而此菌株并非非洲土壤的本土菌株[21,26]。这表明非洲大豆若要实现最优经济产量，需用该菌株进行接种。非洲大豆结瘤的制约因素在一定程度上阐释了其生产推广迟缓的缘由。与之形成对比的是，美国、巴西和阿根廷将生物接种剂作为常规农艺手段，于大豆种植季节进行接种，从而增加了土壤中归化根瘤菌的数量[27]。因此，受根系结瘤不足的限制，非洲规模化、商业化大豆生产步履维艰。此外，非洲的多数小农户在运用根瘤菌接种剂时面临物流与技术方面的挑战，包括冷藏储存条件与田间施用方法等方面（图 1）。这就要求培育出无需商业化接种便可实现高产的优良大豆基因型。

值得庆幸的是，国际热带农业研究所（IITA）通过杂交培育的热带大豆品种（TGx）能够与非洲本土根瘤菌自由结瘤[27]，进而在非洲地区无须运用商业化根瘤菌菌株对大豆进行接种[6,28]（图 1）。植物育种领域的这一突破为非洲地区实现规模化大豆生产提供了可能，非洲农民应把握此机遇，发展大豆生产，争取市场份额。此外，田间试验结果显示，IITA 科学家杂交培育的 TGx 系列结瘤大

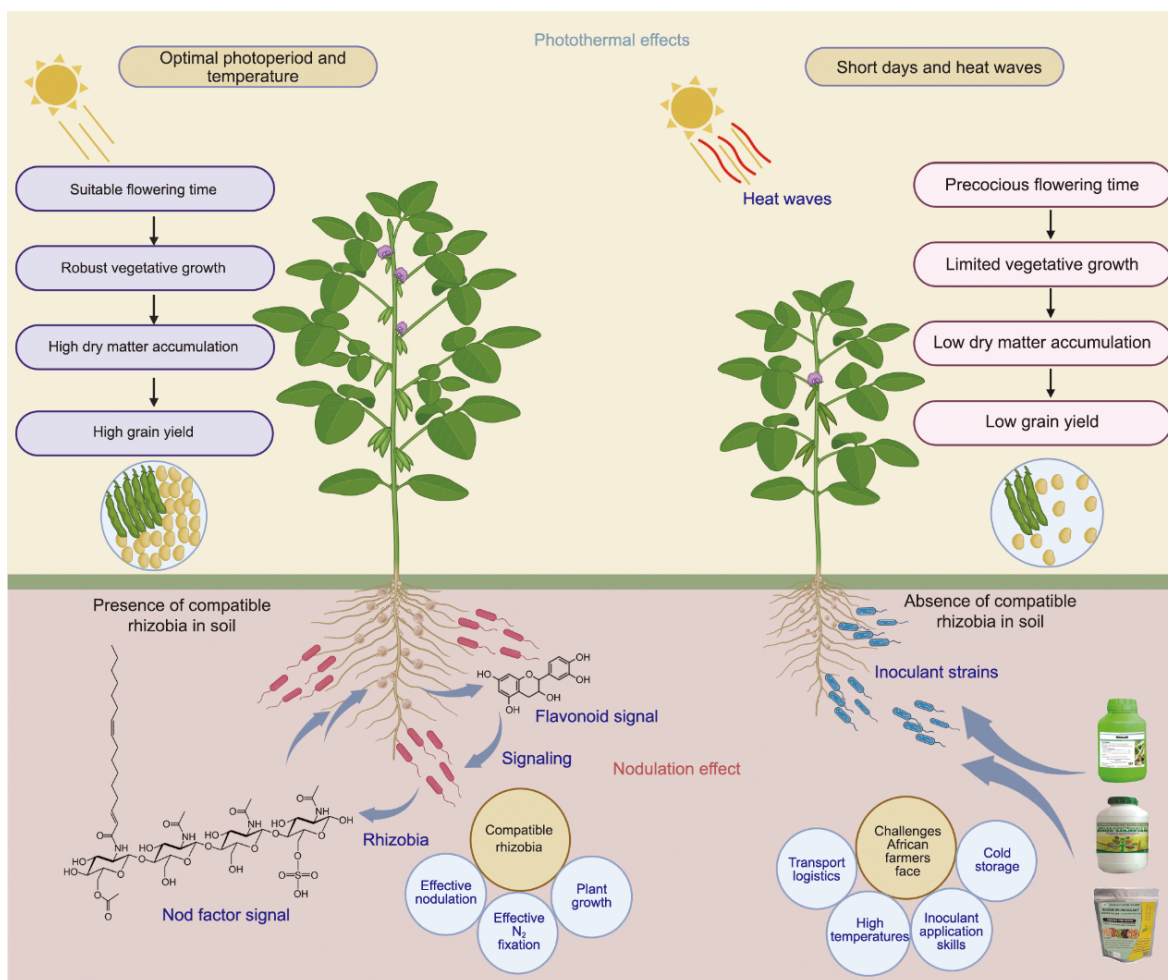


图1. 大豆作物的光热效应与结瘤效应。光热效应：由于大豆是一种短日照且喜温的植物，该作物的茁壮生长和高产只有在适宜的光热条件下才能实现。在非洲，过短的日照时间和热浪会促使大豆提前开花和成熟，导致干物质积累量和谷物产量低于具有适合大豆生长的光热环境的国家（如巴西、美国、阿根廷和中国）的水平。结瘤效应：非洲的土壤缺乏与大豆植株有效固氮相适应的根瘤菌，因此需要接种剂来诱导结瘤固氮，以促进生长和提高产量，但在运输物流和接种技术等方面面临挑战。

豆品种与非洲本土根瘤菌具备较高的结瘤率与固氮效率[10,27,29]。例如，Gyogluu等[21]的研究表明，相较于未接种对照组，采用慢生根瘤菌菌株接种TGx系列大豆基因型，可使植株生长量提升32%、氮含量增加45%、固氮量提高64%、籽粒产量增长12%。显然，阻碍非洲大豆种植的结瘤与固氮限制因素已得到解决，非洲农民有望为中国大豆市场提供产品。然而，鉴于商业接种菌株经多次培养后可能丧失固氮效率，因此需要持续开展严格的种质资源评估，同时研发新的、具有高固氮效率且适应性良好的本土根瘤菌菌株，以促进非洲大豆结瘤生长，提高大豆产量，实现对中国的出口。运用基因工程对大豆和根瘤菌进行基因编辑，可能是提高非洲大豆产能的有效途径。

4. 非洲规模化大豆生产的气候制约因素

当前，全球大豆种植区分布于北纬53°至南纬35°之间，

主要集中于亚洲和北美洲的温带地区以及南美洲的多雨热带地区[22]，大多数高产品种均在这些区域培育而成。然而，非洲农业用地主要分布于撒哈拉以北北纬15°至南纬35°之间，气候呈现炎热干燥的特征[23]。这意味着，当下主要大豆生产国所种植的品种是为适配亚洲、北美洲和南美洲气候条件以实现高产而培育的，并非针对非洲地区，且这些地区的气候与非洲多样化的气候存在显著差异[30]。具体来讲，大豆种子萌发的最适温度为15~22℃，开花最适温度为20~25℃，种子成熟最适温度为15~22℃，而非洲大豆产区大部分地处赤道20°范围内，温度明显偏高。有研究报道，温度超过35℃会导致大豆植株早衰，显著降低开花数目和籽粒产量[31–33]。鉴于大豆对低纬度地区的光温条件较为敏感[33–34]，故而需要培育适应非洲环境的品种。而培育此类非洲专用大豆品种，需要对光温调控基因进行改良。值得庆幸的是，研究人员已鉴定出一组调控大豆光周期和温度响应的主效基因[28,35–40]，这为提升大豆对包括非洲在内的不同地区的广

泛适应性提供了可能。

中国收集和保存了丰富的大豆种质资源[41]，可用于培育抗非洲非生物与生物逆境的优良大豆品种。中外科学家已挖掘出11个参与大豆光周期生长调控的基因位点，包含*E1-E4*、*E6-E11*以及*J*基因。Wu等[33]在近期的综述中介绍了对这些基因研究的新进展，同时还涉及了其他参与开花期光热调控的基因，如*GmFTs*、*GmLHY*、*GmEID*、*GmTFL*、*GmSOC*和*GmFUL*。因此，大豆开花和成熟的光温依赖性（图1）可得到改良，为从中国向非洲引进高产大豆品种、助力非洲大豆进入利润可观的中国市场铺平了道路。

5. 非洲规模化大豆生产的社会经济机遇

2023年，中国大豆产量为2080万吨，而进口量高达9941万吨，主要进口来源为巴西（占比74.5%）和美国（占比24.2%），这两个国家分别由此获得389亿美元和179亿美元的经济收益[2-3,42]。同年，阿根廷为中国第三大大豆进口来源国（占比1.3%），大豆出口量达62.0324万吨，为阿根廷经济带来约9.37亿美元的收入。中国大豆进口量呈持续增长态势，其原因包括耕地资源有限、人口基数庞大、经济高速发展、高蛋白饮食偏好等促使豆制品产业规模不断扩张，以及畜牧业对高蛋白饲料的需求居高不下。有鉴于此，预计在未来较长时期内，中国仍将维持对大豆进口的依赖状态。

中国对大豆的高需求为非洲创造了通过大豆生产与出口推动GDP增长的契机。中国耕地资源相对有限，可借助非洲4.45亿公顷未开垦耕地（占非洲大陆总面积的65%）[4-5]来增加大豆供给。然而，新型冠状病毒疫情（COVID-19）暴发后，非洲国家经济陷入严重困境，GDP增长迟缓，失业率与贫困率持续处于高位（图2）。开展规模化、商业化大豆生产，能够为中非、东非和西非超过3.42亿面临严重粮食短缺的人口[29]增强粮食安全保障，缓解贫困状况，并促进非洲各国GDP增长（图2）。以系统化方式推广非洲规模化大豆生产，还可在从生产、加工、营销至消费的整个食品供应链为数百万人创造就业岗位，进而推动非洲大陆农业综合企业的发展。

农业是世界各国的经济基础和脱贫攻坚的重要环节，而青年人是经济发展的主力军。2023年，在非洲14.8亿人口中，超过60%的人口年龄在25岁以下[43]。预计到2030年，非洲青年将占全球青年人口的42% [38]。这一青

年人口红利有利于非洲农业现代化计划的实施，特别是用于推动商业化大豆生产，以保障粮食安全并促进生物加工产业的发展。在此过程中，可为青年提供技能培训，并在农业领域创造专业化的就业岗位。此外，促使非洲青年参与面向中国出口的商业化大豆生产，能够改变人们对农业的认知，使其将农业视为一项产业而非单纯的谋生手段。这一举措的连锁效应在于激发非洲青年对农业科学的兴趣，推动他们掌握新技术，并通过科学技术与创新助力非洲农业生产体系的现代化。

6. 优化中非科技创新环境,助推非洲大豆产能提升

近期，中国领导层明确表态将大力扶持非洲农业的转型与现代化进程，这为中非开展合作研究及种质资源和其他生物材料的转移、提高非洲农业产出水平奠定了基础。例如，2023年8月，在中国与非洲国家领导人比勒陀利亚高级别圆桌对话会上，中国国家主席宣布中国计划组建中非农业科技创新联盟（CAASTIA），以推动非洲农业现代化加速发展、增强粮食安全保障能力。近期，在2024年中非合作论坛北京峰会上，中国国家主席再次强调中非双方支持由中国农业科学院（CAAS）和非洲科学院（AAS）共同设立并推进CAASTIA的实施。CAASTIA旨在构建农业技术合作与交流的平台，组织各类活动以推动中非科技创新与成果共享，促进中非农业技术与产业的协同发展[18]（图2）。

当前，中非之间良好的科技与创新合作环境，是推动非洲大豆规模化生产发展、保障粮食与营养安全以及对中非出口的重要动力（图2）。因此，由CAAS和AAS实施的CAASTIA在促进科技进步、创新与创业方面具有巨大潜力，有望推动中非人民的社会经济发展（图2）。

除助力能力建设与人才培养之外，CAASTIA还致力于通过强化农业技术知识共享与创新应用，为农业增值贸易提供支持。为加速非洲农业现代化进程，CAASTIA积极推进《中非合作论坛北京行动计划（2025—2027）》的落实，具体举措如下：构建中非现代农业技术示范与联合培训中心；支持中非科研机构在现代农业与绿色发展领域设立联合实验室与联合研究中心；于三亚CAAS国家南繁研究院搭建中非种业技术研究创新平台；牵头组建数字农业联合研究中心，推动农业遥感与大数据技术在非洲的应用。然而，在短期内，仍需要借助中国政府与科学家的直接介入，或以长期规划项目的方式，向非洲转移高产耐旱作物品种、肥料、改良畜禽品种以及农业机械设备等相关



图2. 非洲规模化大豆生产的机遇及中非科技创新赋能要素。CAASTIA: 中非农业科技创新联盟; FOCAC: 中非合作论坛。

技术和产品。

7. 非洲扩大大豆种植的环境挑战

中美贸易摩擦对中国的大豆供应产生了影响[44–46], 推动中国倡导大豆进口来源多元化[46]。尽管从理论上讲, 非洲是中国大豆进口的理想替代供应地, 但目前非洲尚未发展成为大豆主产区。然而, 通过发展规模化大豆生产来抢占全球大豆市场份额的机遇仍然存在。巴西的发展经验表明[47–49], 大豆生产规模扩张对生态环境的影响值得关注。有研究指出, 巴西亚马孙地区大豆产量的增长主要源于耕地已向清理牧场(占比74%)的拓展, 而非森林砍伐(占比26%) [49]。另有研究显示, 80%的直接森林砍伐是为了开辟牧场用于养牛, 仅有13%~18%的森林砍伐是由大豆生产所致[48]。尽管亚马孙部分区域的森林砍伐主要归因于牧场扩张, 但大豆生产规模的增加似乎促使牧场向新区域转移, 从而引发其他地区的森林砍伐[47]。综合考虑环境变化因素, 非洲各国政府有必要制定相关政策, 以最大限度降低大豆生产扩张对生态环境的影响。

水资源是全球范围内限制作物产量的关键生态要素, 特别是在气候变化的大背景下, 缺水可能对非洲规模化

大豆生产造成不利影响。然而, 非洲诸多地区天然毗邻河流, 修建水坝能够为村庄及当地社区的大豆灌溉提供水源。值得注意的是, 南非作为全球排名第30位的最干旱国家, 却是非洲最大的大豆生产国——南非通常借助井水对大豆作物进行灌溉, 这意味着开挖水井可为非洲大豆的雨养生产提供补充性水源。

8. 非洲商业化大豆生产的商业对接

对非洲农民而言, 农业补贴遥不可及, 且从非洲当地银行获取农业信贷与融资的可能性极低。因此, 非洲规模化大豆生产需要在中非投资者之间构建正式或非正式的合作机制。毋庸置疑, 部分中国企业有投资非洲大豆生产与加工的意向, 但目前缺乏非洲合作伙伴, 这构成了一个制约因素。因此, 需要建立商业对接机制, 助力中非企业进行对接、洽谈并联合投资, 在非洲构建商业化大豆产业(图3)。除现有众多中非科技与创新合作的推动作用外, 此类投资将成为非洲大豆产业发展的第三大重要驱动力。

在历届中非合作论坛峰会上, 中非领导人皆会共同商议贸易与政治事务。与之同理, 中非企业家亦应进行会晤, 就商业投资及联合投资的具体事项展开探讨, 特别是在粮食安全与生物加工领域。此外, 除开展各自的合作研

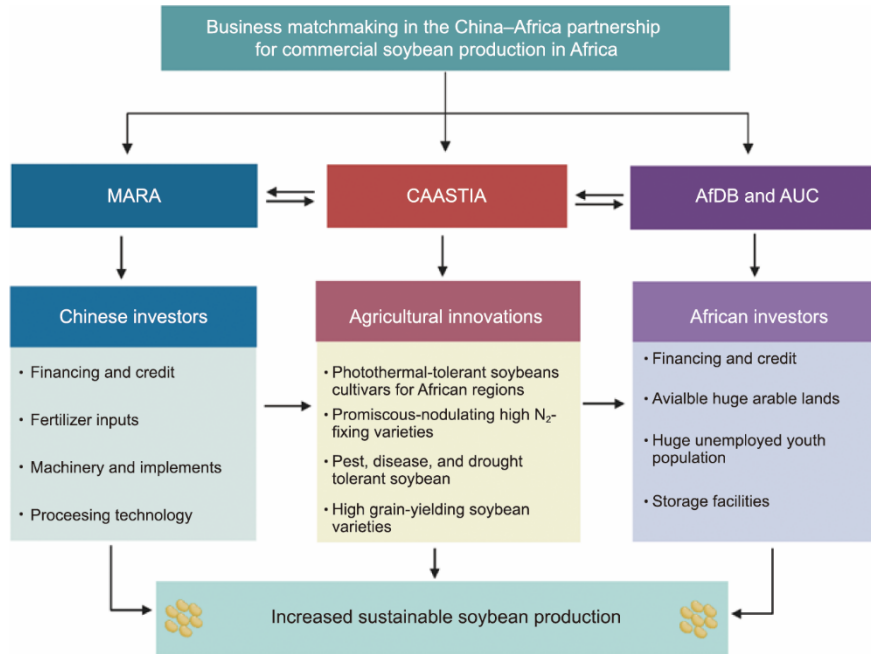


图3. CAASTIA-协同推动非洲大豆生产的核心载体。MARA: 中国农业农业农村部; AfDB: 非洲开发银行; AUC: 非洲联盟委员会。

究外，中非科学家还应单独举办中非科技合作专题会议，制定未来合作研究的战略性优先议程，向中非领导层提出推动实施的建议。

凭借在中国和非洲的网络资源以及其与中国农业农村部（MARA）的联系，CAASTIA应在中非投资者商业对接中发挥关键作用。以此方式，构建中非大豆生产投资合作伙伴关系，是非洲大豆产业得以顺利发展的重要前提。非洲地区没有农业补贴，而且从非洲银行获得农业信贷和融资的可能性极低，迫切需要中方提供启动资金或以资本金的形式进行投入。

9. 结论

综上所述，2023年全球对华大豆贸易总量达到9941万吨，贸易价值达577亿美元。其中，主要进口来源地为巴西（占比74.5%，贸易额389亿美元）、美国（占比24.2%，贸易额179亿美元）以及阿根廷（占比1.3%，贸易额9.37亿美元）。非洲具备广袤的耕地资源，可通过参与对华大豆贸易，推动自身经济发展。然而，生物与非生物逆境因素可能会对非洲大豆生产潜力的发挥产生制约。作为引入作物，非洲大豆缺乏与之相适配的本土固氮根瘤菌；此外，非洲大部分地区处于赤道20°范围之内，高温环境易致使植株过早衰老，进而降低成花数和籽粒产量。因此，若要实现大豆的规模化生产，须持续开展适应非洲气候的大豆品种培育工作。当前，中非之间友好的科技与

创新合作环境有助于推动非洲大豆的规模化生产，进而保障非洲粮食安全并促进对华出口。此外，由CAAS和AAS实施的CAASTIA有望进一步提高非洲大豆产量与贸易规模。

COVID-19之后，非洲面临经济增长迟缓、失业率攀升、贫困问题加剧等困境，而推动非洲规模化大豆生产有望缓解这些问题。在CAASTIA的助力下，中非投资者进行商业对接，此乃非洲商业化大豆生产发展的关键一步。

CRedit authorship contribution statement

Vincent Ninkuu: Writing-original draft. **Tianfu Han:** Writing-review & editing, Conceptualization. **Felix D. Dakora:** Writing-review & editing, Conceptualization.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

致谢

Felix D. Dakora对三亚中国农业科学院国家南繁研究院给予的支持表示诚挚谢意，同时感谢国家研究基金会

(National Research Foundation)、茨瓦内理工大学(Tshwane University of Technology)以及南非农业化学与植物共生研究主席项目(South African Research Chair in Agrochemurgy and Plant Symbioses)对其研究工作给予的持续支持。本研究得到国家重点研发计划(2023YFD1201300)和中国农业科学院南繁专项(YBXM2428)的经费支持。姜丽伟、王培国参与中文版翻译,谨此致谢。

References

- [1] Naamala J, Jaiswal SK, Dakora FD. Microsymbiont diversity, and phylogeny of native bradyrhizobia associated with soybean (*Glycine max* L. Merr.) nodulation in South African soils. *Syst Appl Microbiol* 2016;39(5):336–44.
- [2] Valdes C, Gillespie J, Dohman E. Soybean production, marketing costs, and export competitiveness in Brazil and the United States. Report. Washington, DC: United States Department of Agriculture (USDA); 2023.
- [3] United States Department of Agriculture (USDA). Brazil soybean transportation, in 2022 – 2023. Washington, DC: United States Department of Agriculture (USDA); 2024.
- [4] Chamberlin J, Jayne TS, Headey D. Scarcity amidst abundance? Reassessing the potential for cropland expansion in Africa. *Food Policy* 2014;48:51–65.
- [5] Arezki R, Deininger K, Selod H. The global land rush. *Finance Dev* 2012;49(1): 46–8.
- [6] Vincent JM. A manual for the practical study of the root-nodule bacteria. Oxford: Blackwell Scientific Publication; 1970.
- [7] Giller K, Dashiell K. *Glycine max* (L.) Merr. Record from protabase. In: van der Vossen HAM, Mkamilo GS, editors. Plant resources of tropical Africa (PROTA). Wageningen: Backhuys Publishers; 2006.
- [8] Shurtleff W, Aoyagi A. History of soybeans and soyfoods in south America (1884 – 2009): extensively annotated bibliography and sourcebook. Lafayette: Soyinfo Center; 2009.
- [9] Shurtleff W, Aoyagi A. History of tempeh. Lafayette: Soyinfo Center; 2007.
- [10] Ibrahim S. Agronomic studies on irrigated soybeans in central Sudan: I. Effect of plant spacing on grain yield and yield components. *Int J Agric Sci* 2012;2(8): 733–9.
- [11] Vorobey N, Kukol K, Pukhtaievych P, Kots T. Symbiotic and physiological indicators of soybean inoculated of *Bradyrhizobium japonicum* single-strain in 7 days before sowing. *Acta Agric Slov* 2022;118(2):1–11.
- [12] Foyer CH, Lam HM, Nguyen HT, Siddique KHM, Varshney RK, Colmer TD, et al. Neglecting legumes has compromised human health and sustainable food production. *Nat Plants* 2016;2(8):16112.
- [13] Dakora F, Keya S. Contribution of legume nitrogen fixation to sustainable agriculture in sub-Saharan Africa. *Soil Biol Biochem* 1997;29(5–6):809–17.
- [14] Ngwenya ZD, Mohammed M, Dakora FD. Monocropping and intercropping of maize with six food legumes at malkerns in Eswatini: their effects on plant growth, grain yield, and N₂ fixation, measured using the ¹⁵N natural abundance and ureide techniques. *Symbiosis* 2024;92(2):257–69.
- [15] Sun B, Yuan S, Naser M, Zhou Y, Jia H, Yu Y, et al. Evaluation of forage quality in various soybean varieties and high-yield cultivation techniques. *Field Crops Res* 2024;317:109546.
- [16] Cornelius M, Goldsmith P. The state of soybean in Africa: soybean yield in Africa. *Farmdoc Daily* 2019;9:221.
- [17] United States Department of Agriculture (USDA). The world agricultural production. Report. Washington, DC: United States Department of Agriculture; 2024.
- [18] Ministry of Foreign Affairs of the People's Republic of China. Forum on China – Africa Cooperation Beijing Action Plan (2025 – 2027) [Internet]. Beijing: Ministry of Foreign Affairs of the People's Republic of China; 2024 Sep 5 [cited 2025 Jan 3]. Available from: https://www.mfa.gov.cn/eng/xw/zyxw/202409/t20240905_11485719.html.
- [19] Jordan D. Transfer of *Rhizobium japonicum* Buchanan 1980 to *Bradyrhizobium* gen. nov., a genus of slow-growing, root nodule bacteria from leguminous plants. *Int J Syst Evol Microbiol* 1982;32(1):136–9.
- [20] Xu LM, Ge C, Cui Z, Li J, Fan H. *Bradyrhizobium liaoningense* sp. nov., isolated from the root nodules of soybeans. *Int J Syst Evol Microbiol* 1995; 45(4):706–11.
- [21] Gyoglu C, Boahen SK, Dakora FD. Response of promiscuous-nodulating soybean (*Glycine max* L. Merr.) genotypes to *Bradyrhizobium* inoculation at three field sites in Mozambique. *Symbiosis* 2016;69(2):81–8.
- [22] Sachs JL, Skophammer RG, Regus JU. Evolutionary transitions in bacterial symbiosis. *Proc Natl Acad Sci USA* 2011;108(Suppl):10800–7.
- [23] Sprent JI. Evolving ideas of legume evolution and diversity: a taxonomic perspective on the occurrence of nodulation. *New Phytol* 2007;174(1):11–25.
- [24] Ferguson BJ, Indrasumunar A, Hayashi S, Lin MH, Lin YH, Reid DE, et al. Molecular analysis of legume nodule development and autoregulation. *J Integr Plant Biol* 2010;52(1):61–76.
- [25] Sprent JI, Ardley J, James EK. Biogeography of nodulated legumes and their nitrogen-fixing symbionts. *New Phytol* 2017;215(1):40–56.
- [26] Pule-Meulenber F, Gyoglu C, Naab J, Dakora FD. Symbiotic N nutrition, bradyrhizobial biodiversity and photosynthetic functioning of six inoculated promiscuous-nodulating soybean genotypes. *J Plant Physiol* 2011;168(6):540–8.
- [27] Abaidoo RC, Keyser HH, Singleton PW, Borthakur D. *Bradyrhizobium* spp. (TGx) isolates nodulating the new soybean cultivars in Africa are diverse and distinct from bradyrhizobia that nodulate North American soybeans. *Int J Syst Evol Microbiol* 2000;50(1):225–34.
- [28] Yue Y, Liu N, Jiang B, Li M, Wang H, Jiang Z, et al. A single nucleotide deletion in J encoding GmELF3 confers long juvenility and is associated with adaptation of tropic soybean. *Mol Plant* 2017;10(4):656–8.
- [29] Food and Agriculture Organization (FAO), African Union Commission (AUC), United Nations Economic Commission for Africa (ECA), World Food Programme (WFP). Africa—regional overview of food security and nutrition 2023: statistics and trends. Accra: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2023.
- [30] Quinn L. Researchers pinpoint unique growing challenges for soybeans in Africa [Internet]. Urbana: College of Agricultural, Consumer & Environmental Sciences; 2021 Jun 29 [cited 2025 Jan 3]. Available from: <https://aces.illinois.edu/news/researchers-pinpoint-unique-growing-challenges-soybeans-africa>.
- [31] Tang Y, Lu S, Fang C, Liu H, Dong L, Li H, et al. Diverse flowering responses subjecting to ambient high temperature in soybean under short-day conditions. *Plant Biotechnol J* 2023;21(4):782–91.
- [32] Onat B, Bakal H, Gulluoglu L, Arioglu H. The effects of high temperature at the growing period on yield and yield components of soybean [*Glycine max* (L.) Merr] varieties. *Turk J Field Crops* 2017;22(2):178–86.
- [33] Wu T, Lu S, Cai Y, Xu X, Zhang L, Chen F, et al. Molecular breeding for improvement of photothermal adaptability in soybean. *Mol Breed* 2023;43(8):60.
- [34] Diers B, Scaboo A. Soybean breeding in Africa. *Afr J Food Agric Nutr Dev* 2020;19(05):15121–5.
- [35] Mao T, Li J, Wen Z, Wu T, Wu C, Sun S, et al. Association mapping of loci controlling genetic and environmental interaction of soybean flowering time under various photo-thermal conditions. *BMC Genomics* 2017;18(1):415.
- [36] Yun J, Wang C, Zhang F, Chen L, Sun Z, Cai Y, et al. A nitrogen-fixing symbiosis-specific pathway required for legume flowering. *Sci Adv* 2023;9(2): eade1150.
- [37] Liu L, Song W, Wang L, Sun X, Qi Y, Wu T, et al. Allele combinations of maturity genes *E1–E4* affect adaptation of soybean to diverse geographic regions and farming systems in China. *PLoS One* 2020;15(7):e0235397.
- [38] Jiang B, Nan H, Gao Y, Tang L, Yue Y, Lu S, et al. Allelic combinations of soybean maturity loci *E1, E2, E3* and *E4* result in diversity of maturity and adaptation to different latitudes. *PLoS One* 2014;9(8):e106042.
- [39] Liu W, Jiang B, Ma L, Zhang S, Zhai H, Xu X, et al. Functional diversification of *Flowering Locus T* homologs in soybean: *GmFT1a* and *GmFT2a/5a* have opposite roles in controlling flowering and maturation. *New Phytol* 2018; 217(3):1335–45.
- [40] Wang L, Sun S, Wu T, Liu L, Sun X, Cai Y, et al. Natural variation and CRISPR/Cas9-mediated mutation in *GmPRR37* affect photoperiodic flowering and contribute to the regional adaptation of soybean. *Plant Biotechnol J* 2020; 18(9):1869–81.
- [41] Li D, Zhang Z, Gao X, Zhang H, Bai D, Wang Q, et al. The elite variations in germplasms for soybean breeding. *Mol Breed* 2023;43(5):37.
- [42] Kong W, Wei M, Khan N, Liang J, Han D, Zhang H. Assessing sustainable future of import-independent domestic soybean production in China: policy implications and projections for 2030. *Front Sustain Food Syst* 2024;8:1387609.
- [43] Mpemba C, Munyati C. How Africa's youth will drive global growth [Internet]. New York City: World Economic Forum; 2023 Aug 16 [cited 2025 Jan 3]. Available from: <https://www.sundaymail.co.zw/africas-youth-will-drive-global-growth>.
- [44] Sun J, Mooney H, Wu W, Tang H, Tong Y, Xu Z, et al. Importing food damages domestic environment: evidence from global soybean trade. *Proc Natl Acad Sci*

- USA 2018;115(21):5415–9.
- [45] Ren D, Yang H, Zhou L, Yang Y, Liu W, Hao X, et al. The land–water–food environment nexus in the context of China’s soybean import. *Adv Water Resour* 2021;151:103892.
- [46] Liu W, Yang H, Ciais P, Kummu M, Hoekstra AY. China’s food supply sources under trade conflict with the United States and limited domestic land and water resources. *Earth’s Future* 2020;8(3):e2020EF001482.
- [47] Barona E, Ramankutty N, Hyman G, Coomes OT. The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. *Environ Res Lett* 2010;5(2):024002.
- [48] Lima M, Skutsch M, de Medeiros CG. Deforestation and the social impacts of soy for biodiesel: perspectives of farmers in the South Brazilian Amazon. *Ecol Soc* 2011;16(4):4.
- [49] Macedo MN, DeFries RS, Morton DC, Stickler CM, Galford GL, Shimabukuro YE. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. *Proc Natl Acad Sci USA* 2012;109(4):1341–6.