

保障国家粮食安全的蛋白替代战略构想

浦华¹, 杨静², 王永伟³, 涂涛¹, 李燕松⁴, 罗会颖¹, 姚斌^{1*}

(1. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 北京 100193; 2. 农业农村部农业贸易促进中心, 北京 100125;
3. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037; 4. 全国畜牧总站, 北京 100125)

摘要: 粮食安全的突出矛盾表现在饲料粮方面, 蛋白饲料资源的有效供给是满足居民对畜禽产品消费需求的关键。本文着眼“保障粮食安全、实现蛋白稳定供给”的宏观需求, 梳理了我国蛋白饲料资源的利用现状, 凝练了蛋白饲料供给面临的主要问题; 在测算国内蛋白饲料资源、辨识国际市场蛋白供求潜力的基础上, 分析了我国蛋白饲料的替代潜力: 通过油料作物扩种增收、新型饲料资源开发利用、传统蛋白饲料资源高效利用、饲草料种植结构调整优化、畜禽蛋白转化效率提升, 到2035年可较2020年减少大豆进口量约 5.88×10^7 t。研究提出, 以挖潜拓源、科技支撑、适度进口为基本策略, 实施替代豆粕资源的农作物和牧草增产、非常规蛋白饲料资源提质增效、新型蛋白饲料资源开发利用等重大工程, 辅以加大财政支持、积极利用国际市场等策略, 促进豆粕替代行动的顺利实施, 确保实现国家粮食安全。

关键词: 粮食安全; 蛋白饲料资源; 蛋白替代; 豆粕

中图分类号: F32 文献标识码: A

Protein Substitution Strategy for Ensuring National Food Security in China

Pu Hua¹, Yang Jing², Wang Yongwei³, Tu Tao¹, Li Yansong⁴, Luo Huiying¹, Yao Bin^{1*}

(1. Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Agricultural Trade Promotion Center, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China; 3. Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037, China; 4. National Animal Husbandry Station, Beijing 100125, China)

Abstract: The most prominent contradiction in ensuring food security of China lies in feed grain and the effective supply of protein feed is the key to satisfy people's demand for consumption of livestock and poultry products. This study focused on the strategic requirements of ensuring food security and achieving sustainable protein supply, and analyzed the utilization status of protein feed resources and summarized the major problems in protein feed supply. Based on the protein feed resources in China and the potential of protein supply in the international market, this article analyzed the potential for substituting soybean meal in our country. It is expected that by 2035 the soybean imports will have reduced 58.8 million tons compared with 2020 by expanding the planting, increasing the income of oil crops, developing new feed resources, utilizing conventional protein feed resources, efficiently, optimizing the planting structure of forage crops, as well as improving the efficiency of livestock and poultry protein conversion. It is suggested that future efforts should be focused on tapping potentials and expanding resources, strengthening scientific and technological support, also carrying out appropriate import by implementing major projects such as increasing crop and forage production, improving quality

收稿日期: 2023-06-12; 修回日期: 2023-07-13

通讯作者: *姚斌, 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所研究员, 中国工程院院士, 研究方向为饲料用酶工程; E-mail: yaobin@caas.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“双循环背景下国家粮食安全战略研究”(2022-XBZD-12)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

and efficiency of unconventional protein feed resources, and developing new protein feed resources. In addition, financial support should be increased and the international market effectively exploited, in order to promote soybean meal substitution and ensure national food security.

Keywords: food security; feed protein source; protein substitution; soybean meal

一、前言

随着居民收入稳步增长、消费水平不断提高,对肉、蛋、奶的消费量日益旺盛,带动了饲料粮需求的不断增加^[1]。然而,我国饲用蛋白资源高度依赖国际市场,在全球贸易保护主义抬头、地缘政治冲突风险加大的背景下,保障国家蛋白资源安全供给面临不小的压力^[2]。进一步提高现有蛋白资源的利用率、积极寻找新的蛋白源、开辟新的蛋白饲料资源,是缓解我国蛋白资源短缺的有效途径。《粮食节约行动方案》(2021年)提出,推广豆粕减量替代技术,充分挖掘和利用杂粮、杂粕、粮食加工副产物等替代资源,改进制油工艺,提高杂粕质量^[3]。保障饲料粮供给安全是大食物观下增强肉、蛋、奶等畜产品供给能力的基础条件。我国饲用蛋白资源短缺、综合利用率不高,加之粮食国际贸易的金融化、能源化、武器化特征趋于明显,使畜牧业的健康可持续发展受到严重制约。豆粕减量替代是应对国际市场不确定性的被动之选,也是保障畜牧业高质量发展的主动之举,对产业节本增效、国家粮食安全具有重要意义。

近年来,生物工程、合成生物学、代谢工程、生物信息学等新兴技术的应用与融合加快,以饼粕低温制油工艺改造、生物发酵酶解、昆虫蛋白/菌体蛋白开发等为代表的豆粕替代技术取得了一定进展;但在践行大食物观要求,聚焦“提效减量、开源替代”,以满足居民日益增长的优质畜产品需要为出发点和落脚点,实现我国蛋白饲料资源安全供给等方面,仍然面临诸多挑战。当前的饲用蛋白资源研究,多从单一饲料蛋白资源、单项高效利用技术的视角来分析^[4],仅关注大豆作为蛋白饲料原料对居民粮食安全稳定性的影响^[5,6],导致有关我国蛋白饲料资源全面剖析与宏观构思等的探讨不够深入。

针对于此,本文梳理蛋白饲料资源基本情况、分析饲料蛋白替代潜力、提出蛋白替代战略构想,以期增强蛋白饲料资源的有效供给提供借鉴。

二、我国蛋白饲料资源的基本情况

(一) 蛋白饲料资源的利用现状

1. 豆粕是我国畜禽主要的蛋白饲料

我国饲用蛋白资源的主要形式包括5大类:油料籽实及其加工产品(如饼粕)、谷物及各类加工产品(如玉米蛋白粉、酒糟等)、水产畜产品类饲料(如鱼粉、肉骨粉等)、牧草与木本饲料(如苜蓿、构树、饲料桑等)和新型蛋白饲料(如单细胞蛋白、昆虫蛋白等)^[7]。如图1所示,2020年,我国蛋白饲料总量为 1.08×10^9 t,其中豆粕是最主要的蛋白饲料,为 7×10^8 t,占比高达64.6%^[8]。

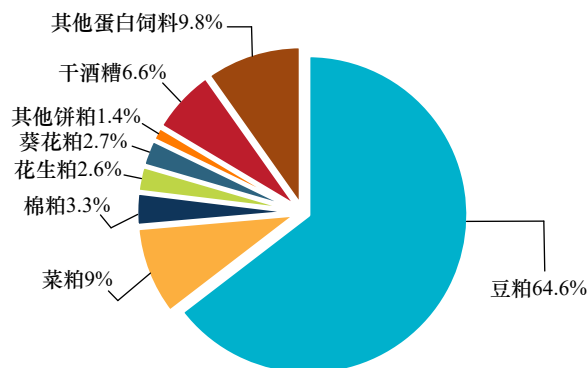


图1 2020年我国主要蛋白饲料资源

2. 大豆是我国粮食进口的重要品种

豆粕是大豆压榨生产食用油后得到的副产物,因其蛋白含量高、氨基酸组成与畜禽需求相近,成为我国畜禽饲料的主要蛋白来源。我国饲用豆粕主要来源于进口大豆压榨生产,每吨大豆可产豆粕约780 kg,绝大部分进入了饲料生产环节。2022年我国粮食进口量、进口总金额分别为 1.47×10^8 t、 8.26×10^{10} 美元,其中大豆进口量为 9.11×10^7 t,进口金额为 6.12×10^{10} 美元,占比分别为62%、74%,是我国重要的进口粮食品种。

3. 蛋白饲料资源开发利用不断加快

近年来,相关科研院所和企业为提高传统蛋白饲料资源利用率、开发新型蛋白饲料资源等方面开

展了大量的技术研发,推广了油料作物育种与高产高效栽培、饼粕低温制油工艺改造、生物发酵酶解、饲料桑、构树等木本饲料开发利用、昆虫蛋白和菌体蛋白开发等技术,同时对传统加工工艺进行了升级改造;实现了油料作物扩种增产、饼粕资源提质增效、新型蛋白资源开发利用,为有效增加蛋白饲料资源供给、发挥替代豆粕潜力奠定了良好基础。

(二) 蛋白饲料供给面临的问题

1. 大豆进口容易“受制于人”

随着居民生活水平提高和消费转型升级,全国大豆及油料消费呈快速增长趋势,畜牧养殖业对蛋白饲料的需求不断增加,油料产需缺口明显,对外依存度偏高,其中大豆产需不足问题尤为突出。2012年以来我国大豆的对外依存度一直维持在80%以上,如2022年的大豆进口量为 9.11×10^7 t,对外依存度为83%。我国的大豆供给高度依赖国际市场,占全球大豆贸易总量的60%以上,进口来源地集中于巴西、美国和阿根廷,大豆进口量合计占比超过96%。

当前,全球百年变局加速演进,地缘政治风险、极端气候灾害、供应链不畅等多重不利因素叠加,我国利用国际大豆市场保障国内蛋白原料供应的现状存在较大不确定性。一是大豆生产、贸易高度集中,我国虽有进口大国优势,但主要定价权尚不在掌控之中,一旦国际市场上生产或贸易发生波动,将对我国进口的稳定性、可靠性产生负面影响。二是全球贸易限制措施频出,影响了我国通过国际贸易满足大豆供应的可获得性。大豆主产国若发布出口禁令或限制措施,将直接影响大豆供应。三是国际航路不安全性、区域性冲突可能导致局部地区供应链出现断点、堵点,如近期的区域性冲突影响了黑海粮食港的粮食出口、全球海运运费起伏等都可能国内大豆供应阶段性减少、市场价格大幅波动。四是价格上涨、国际贸易支付体系和美元货币政策等变化造成进口成本攀升、渠道不畅。例如,俄乌冲突发生后,欧美国家宣布禁止俄罗斯主要银行使用SWIFT国际资金清算系统,对俄罗斯中央银行的国际储备实施限制,造成我国部分金融机构暂停对俄罗斯的结算业务,致使贸易商无法结算支付订单,这对我国大豆等农产品进口具有一定的警示作用。

2. 油料作物大规模扩种和增产“空间不大”

提高国内大豆产量的根本解决途径是提高单产、增加种植面积^[9],但提升空间有限。一方面,我国大豆等油料优良品种选育起步较晚,高产、高含油率的油料作物与国外仍有差距。另一方面,我国耕地资源总量不足,现有耕地面积约为 1.28×10^8 hm²,比2009年减少了 7.53×10^6 hm²^[10];耕地质量总体不高,高标准农田有 4.2×10^7 hm²,仅占耕地总面积的31.24%,超过2/3的耕地是中低产田^[11]。虽然推广了大豆玉米带状复合种植等新模式,但在生产中仍存在一定的困难^[12]。此外,油料作物的机械化水平较低,如2021年花生、油菜的“耕种收”综合机械化率仅为65.7%、61.9%。

从种植效益来看,我国大豆、油菜籽的经济效益明显低于稻谷、玉米和小麦,种植户缺少开展油料作物生产的内生动力。如表1所示,2019—2021年,大豆、油料种植的平均利润率为-10.41%、-15.48%,明显低于稻谷、小麦和玉米的3.41%、4.08%和4.03%^[13]。鉴于部分地区大豆补贴已达到 $4.5 \times 10^3 \sim 1.2 \times 10^4$ 元/hm²,未来继续依靠增加补贴拉动油料扩种有一定难度。

表1 2019—2021年主要粮食作物和油料作物的纯收益情况
(单位:×10²元/hm²)

品种	2019年	2020年	2021年	3年平均
稻谷	3.07	7.35	9.00	6.47
小麦	2.26	-2.49	19.37	6.38
玉米	-19.02	16.18	24.31	7.16
大豆	-29.12	-9.05	6.33	-10.61
油菜	-27.90	-20.84	-15.48	-21.41

3. 蛋白资源传统加工技术存在短板

目前我国的蛋白资源多采用传统加工工艺获取,存在消化利用率低、蛋白质含量变异大、氨基酸组成不理想、含有内源毒素和抗营养因子等限制因素。① 油料籽实制油工艺有待进一步提升优化。用于榨油的加工设备残油率高,加工产品单一、同质化严重,在系统集成优化、高附加值产品分离和利用方面工艺仍需提升。例如,菜粕蒸炒温度较高、时间较长,导致蛋白质和氨基酸破坏严重,饼粕价值降低。② 谷物及加工副产物类饲料资源开发利用水平总体不高。谷物蛋白及加工产品主要采用

碱法、酶法、物理法等提取蛋白，糟渣类蛋白主要通过干燥、粉碎、挤压膨化、青贮等工艺获取，木本与块根茎类饲料资源的综合利用率低。③新型蛋白资源尚未形成稳定供应，多数菌体蛋白产品处于实验室阶段。在饲料酶工程方面，对代谢途径关键基因和酶的功能机制、方便有效的基因编辑工具与基因组工程方法、系统性表达体系、低成本工业化连续气体发酵大工业装备、能量代谢流短缺限制生物量等研究不充分；缺乏对昆虫蛋白饲料资源的系统化研究与评价，缺少饲料饲喂试验与安全性控制技术。

三、我国蛋白饲料替代潜力分析

(一) 国内蛋白饲料资源测算

1. 国产大豆

2020年，我国大豆种植面积为 $9.87 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，产量为 $1.96 \times 10^7 \text{ t}$ 。有专家提出，转移部分玉米种植面积供大豆种植，运用土壤-作物系统综合管理技术将大豆单产水平提高至 3 t/hm^2 ，在不扩大耕地的情况下，预计到2035年，可以生产出满足我国大豆需求的45%（约为 $6 \times 10^7 \text{ t}$ ）^[14]，此情景意味着大豆产量和种植面积分别增长50%和100%，实现条件近乎苛刻。如果在 $5.33 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 的面积上实施玉米大豆带状复合种植技术并叠加采用生物育种技术，预计到2035年我国的大豆产量可以达到 $3.28 \times 10^7 \text{ t}$ ^[15]，此情景实现条件适中，为此本研究采用该数据。

2. 油料籽实及其加工产品

根据农业农村部发布的《“十四五”全国种植业发展规划》，到2025年，预计全国油菜、花生的播种面积将达到 $8 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 、 $5 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，单产分别为 2.25 t/hm^2 和 3.8 t/hm^2 ，油菜籽、花生产量有望达到 $1.8 \times 10^7 \text{ t}$ 、 $1.9 \times 10^7 \text{ t}$ ，由此测算，饲用菜籽粕、花生粕的产量可达 $9.6 \times 10^6 \text{ t}$ 、 $3.9 \times 10^6 \text{ t}$ 。再加上，向日葵、胡麻、芝麻等特色油料面积稳定在 $1.66 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，饼粕产量将达到 $3.17 \times 10^6 \text{ t}$ ^[16]。此外，我国油茶籽饼粕产量达 $1.2 \times 10^6 \text{ t}$ ，目前尚不能作为饲料原料使用，预计到2035年油茶籽饼粕产量将达到 $2 \times 10^6 \text{ t}$ ，其中大部分可通过脱毒加工处理后进行利用。

3. 谷物及各类加工产品

谷物及各类加工产品虽然蛋白含量低，但使用量占饲料总量的70%。经测算，2020年谷物类饲

料提供的蛋白总量为 $2.27 \times 10^7 \text{ t}$ ，约占饲料蛋白总量的30.4%。谷物类饲料结构的变化会对蛋白饲料的供给造成一定影响。2021年，我国饲料企业较2020年相比增加小麦用量约 $2.25 \times 10^7 \text{ t}$ ，由于小麦的粗蛋白含量为13.4%，较玉米增加了5.4个百分点，相当于蛋白含量增加了 $3.03 \times 10^6 \text{ t}$ ，同年玉米用量减少了 $1.5 \times 10^7 \text{ t}$ 、稻谷用量增长了 $1.1 \times 10^7 \text{ t}$ ，三大谷物“两增一减”，增加了蛋白含量约 $2.69 \times 10^6 \text{ t}$ ，相当于减少了 $8 \times 10^6 \text{ t}$ 大豆进口^[1]。我国粮食仓储能力超过 $7 \times 10^6 \text{ t}$ ，常年粮食库存量占全世界粮食库存总量的50%以上，每年的污染粮食、陈化稻谷和小麦合计约为 $8.7 \times 10^7 \text{ t}$ ，未来对超过正常储存年限粮食的资源化利用也可满足一部分蛋白饲料的需求^[17]。

4. 水产畜产品类饲料

畜产品加工副产物如肉骨粉、血粉、鱼粉、羽毛粉等都可以作为动物源蛋白饲料，目前通过提高畜产品加工和集中屠宰比例，产量有望进一步提升。病死动物进行无害化处理、安全性检测后，未来也可以作为饲料原料使用，若将其加工成肉骨粉，年产量将超过 $7.5 \times 10^5 \text{ t}$ 。

5. 饲草与木本饲料

近年来，我国相继实施了草原生态保护补助奖励、粮改饲、振兴奶业苜蓿发展行动等政策措施，优质饲草供给能力得以不断增强，预计2025年、2035年，全国优质饲草产量将达到 $9.8 \times 10^7 \text{ t}$ 、 $1.2 \times 10^8 \text{ t}$ 。此外，我国木本饲料资源丰富，且具有产量高、粗蛋白含量高特性，对其合理开发利用可以缓解我国“畜多草少”的压力；另外，通过青贮等措施还可以实现高质量保存，保全饲草的营养养分^[18]。

6. 新型蛋白饲料

乙醇梭菌蛋白等新型蛋白饲料资源产能将进一步增长。如果我国所有的工业尾气气源利用率达到20%，即可年产蛋白饲料超过 $1 \times 10^6 \text{ t}$ ^[19]。厨余垃圾饲料化技术可以将厨余垃圾加工成蛋白含量为20%~30%的动物饲料^[20]。随着制止餐饮浪费显成效，餐桌剩余食物产生量将逐步减少，如果2035年餐桌剩余食物量减少20%、饲料化达到50%，则厨余垃圾加工而成的蛋白产量将为 $2.75 \times 10^6 \text{ t}$ ；昆虫饲料被认为是对环境影响最小的动物蛋白资源^[21]，预计2025年、2035年我国昆虫加工产品的产量将分别达到 $1.5 \times 10^6 \text{ t}$ 、 $2.5 \times 10^6 \text{ t}$ 。

(二) 国际市场蛋白供应潜力分析

1. 豆粕仍是饲料蛋白供应的主要来源

豆粕一直是饲料蛋白产量的主要来源，近20年来豆粕蛋白在蛋白总产量中的占比超70%。巴西、美国等大豆主产国在国际蛋白市场中的地位举足轻重。近年来，葵花籽粕、菜籽粕等蛋白产量增速较快，但贸易量占比较小，未来豆粕仍是饲料蛋白供应的主要来源，美洲仍将在全球饲料蛋白市场中占据主导地位。

2. 北美地区仍是重要供应来源

2022年，美国是仅次于巴西的大豆出口国，出口量为 5.68×10^7 t，在国际市场中的占比为34%；加拿大的大豆出口量为 4.51×10^6 t。从生产潜力来看，得益于大豆单产的提高，预计到2031年，美国、加拿大的大豆出口量将小幅增长到 5.97×10^7 t、 5.55×10^6 t^[22]。受经贸关系不稳定因素影响，未来我国可能逐步减少对该区域的大豆进口。

3. 南美地区占据国际蛋白饲料供应主体

2022年，南美地区的大豆出口量占全球大豆出口总量的60.9%。其中，巴西稳居全球最大的大豆出口国地位，出口量为 8.23×10^7 t，占比为49.3%；阿根廷、巴拉圭和乌拉圭等国家大豆出口量的合计占比约为11.6%。从生产潜力来看，在大豆和玉米间作套种的带动下，未来该地区的大豆产量仍将继续增长，预计2031年的出口量将达到 1.09×10^8 t。鉴于巴西大豆较美国大豆的价格竞争优势增强，该区域在我国大豆进口的比重中可能进一步提高。

(三) 2025年和2035年的豆粕替代潜力测算

1. 畜产品产量预测

到2035年，我国畜产品产量将稳步增长，但涨

幅将逐步回落；除水产品外，许多畜产品的生产和供需缺口在很大程度上取决于饲料粮贸易、草牧业发展政策^[23]。比对相关机构和专家的预测结果^[24,25]，结合我国畜牧业发展现状和本研究组织的专家调研，预计2025年，我国肉、蛋、奶、养殖水产品的产量分别将达到 9.62×10^7 t、 3.48×10^7 t、 4.25×10^7 t、 5.59×10^7 t。受需求结构变化等因素影响，畜产品产量增速将逐步回落，2035年，我国肉、蛋、奶、养殖水产品的产量将分别达到 1.02×10^8 t、 3.48×10^7 t、 4.94×10^7 t、 6.1×10^7 t。预计2025年和2035年，主要畜产品的产量预测情况如图2所示。

2. 畜禽饲料转化效率提升

向规模化、现代化转变是我国畜牧业发展的基本特征和必然选择^[26]。随着畜禽养殖规模化率、标准化率的不断提高，精准饲喂、环境控制等技术的逐步推广，特别是酶制剂和微生物制剂使用量的快速增长（2018—2021年的复合增长率分别为28.7%和25.4%），畜禽饲料的转化效率将得到快速提升。到2025年、2035年，我国畜禽平均蛋白饲料转化效率较2020年的30.1%^[8]再分别提升5个和10个百分点。

3. 低蛋白日粮技术推广

随着国内低蛋白日粮技术日趋成熟，合成必需氨基酸供给能满足生产需要，来源于饲料原料的蛋白占比进一步减少，加之畜禽养殖结构的调整，蛋白饲料转化效率较高的禽肉在肉类总产量中的占比有望进一步提升，牛、羊等反刍动物饲养中的青贮玉米、苜蓿等优质饲草供应能力将进一步增强。2025年和2035年，畜禽饲料中平均蛋白水平较2020年的18.9%^[8]将分别下降5个和10个百分点。

综上所述，到2025年、2035年，我国饲用蛋白

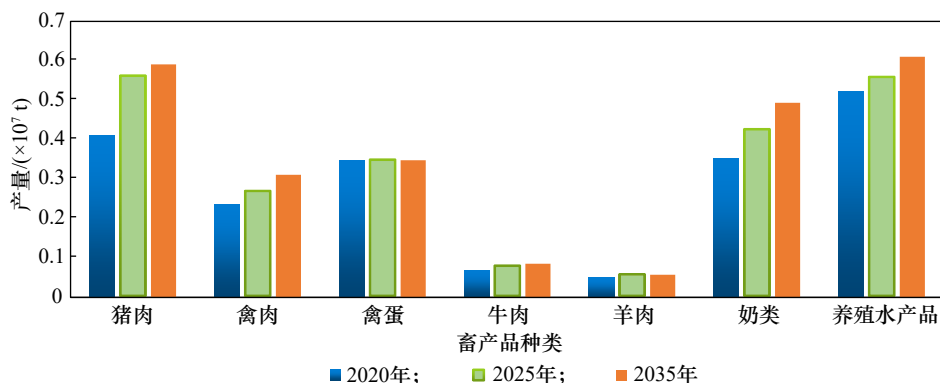


图2 我国主要畜产品产量情况

供应总量将分别达到 5.7×10^7 t、 7.04×10^7 t，如果这部分蛋白主要依赖进口大豆压榨获得，届时我国进口大豆（按照豆粕平均蛋白含量为43%、出粕率为78%）的数量将分别为 7.92×10^7 t、 4.15×10^7 t，有望较2020年减少 2.11×10^7 t、 5.88×10^7 t（见表2）。

表2 2025年和2035年饲用蛋白供需平衡表
(单位: $\times 10^7$ t)

饲用蛋白供需	2025年	2035年
饲料蛋白供给	5.70	7.04
油料籽实及其加工产品	1.24	1.74
谷物及加工产品	2.73	2.96
水产畜产品类	0.25	0.32
饲草与木本饲料	1.34	1.72
新型蛋白饲料	0.13	0.30
饲料蛋白需求	8.12	8.38
供需差额	2.42	1.34
需进口大豆	7.92	4.15
较2020年减少大豆进口	2.11	5.88

四、未来豆粕替代的基本策略与重大工程

（一）基本策略

面向2035年，为应对饲用蛋白产业发展面临的新形势，基于“向耕地草原森林海洋、向植物动物微生物要蛋白，全方位多途径开发蛋白饲料资源”的基本原则，实现保障国家粮食安全的蛋白替代，可采取以下策略。

一是挖潜拓源策略。在不与粮争地的条件下，科学合理开发冬闲田、盐碱地等未利用或利用不充分的土地资源，启动实施大豆、油菜等油料作物单产提升行动，实现油料作物的扩种增产。加快新型蛋白饲料资源的开发和利用，显著提升国内蛋白饲料资源的数量与质量。优化畜禽养殖结构，提高蛋白饲料转化率较高的肉禽和水产的养殖占比。

二是科技支撑策略。建立以酶工程技术为核心的工农业副产物、废弃物高效利用与转化技术体系，研发以合成生物学、代谢工程为基础的新型饲用氨基酸及其衍生物高产新菌株^[27]。加快乙醇梭菌单细胞蛋白等新型单细胞蛋白和酵母、微藻传统单细胞蛋白的低成本技术研发，开发餐厨等有机废弃

物生产昆虫蛋白低成本安全生产技术。开展低豆粕日粮和氨基酸平衡技术研究，提升畜禽蛋白转化效率。

三是适度进口策略。明确国内蛋白饲料资源供给优先序和国际贸易优先序，巩固和扩大对南美地区和俄罗斯的大豆投资合作；重点布局“一带一路”沿线国家，推进覆盖育种、生产、加工、仓储和物流等关键环节的境外大豆全产业链建设，加强农业基础设施建设和农业科技领域合作，推进多元化进口，稳定蛋白产品进口渠道^[28]；加大支持力度，进一步提升中粮集团有限公司、中国中化控股有限责任公司等大型农业企业在全全球蛋白产品产业链中的地位。优化“走出去”发展战略，完善蛋白饲料全球供应链，确保蛋白饲料“买得到”“用得起”“运得回”。

（二）重大工程

1. 替代豆粕资源的农作物和牧草增产工程

一是加强对油料等农作物增产技术的推广示范和政策支持。提高油料作物单产，加强油料作物品种选育，建立快速育种技术体系，提高优质种源供给能力。结合自然资源条件，明确优势区域主推油料品种，加大新品种扩繁及病虫害防控技术的应用推广力度。

二是继续执行对大豆等油料作物和棉花种植的补贴政策。充分利用国外土地资源，尤其是在中亚和“一带一路”沿线国家和地区的种植粮油资源，如可以在中亚种植棉花，运回棉籽生产棉粕；在俄罗斯种植大豆；利用好东南亚国家特有的棕榈、椰子等资源开发蛋白饲料。

三是加强对非耕地粮油资源开发技术的推广示范和政策支持。做好非耕地设施高效农业发展规划、制定和完善非耕地高效农业发展的相关优惠政策，适度加大财政补贴投入支持非耕地农业基础设施建设；加强对粮油资源开发利用的政策引导，鼓励农户利用冬闲田、盐碱地等未利用或利用不充分的土地资源种植油料和粮食作物。

四是加强关键技术研发与推广，为促进非耕地设施对发展高效农业提供的技术支撑。在不与粮争地的条件下，大力发展油菜种植，加大投入促进油茶籽增产，挖掘林地木本粮油资源，利用非耕地在新疆和东北等地区种植油莎豆、在南方地区种植山

桐子等, 在实现增加植物油供给潜力的同时, 提高饼粕蛋白饲料资源的供给能力。

五是加强对优质饲草利用的政策和技术引导, 充分挖掘农闲田、盐碱地、草山草坡等各类土地资源潜力, 推广农闲田种草和草田轮作。建立规模化种植、标准化生产、产业化经营的现代饲草产业体系, 建设高标准优质饲草生产基地, 提高优质饲草产品供给能力。增加全株青贮玉米、苜蓿、饲用燕麦、黑麦草等优质饲草供应, 引导改变牛羊养殖过多依赖精饲料的饲养模式, 减少饲料粮消耗。大力开发构树叶、饲料桑资源, 增加饲草在工业饲料中的应用。

2. 非常规蛋白饲料资源提质增效工程

一是杂粕等增值利用产业化集成技术示范。根据制油工业实际情况, 开发杂粕增值利用产业化集成技术, 推动现有棉粕、菜粕、花生饼粕等杂粕加工企业技术升级改造。

二是谷物及副产物提质增效利用产业化集成技术示范工程。针对不同谷物生产主产区, 开展谷物及其副产物增值利用、谷物精深加工副产物增值利用、糟渣副产物增值利用和污染粮食及副产物、超期储存粮食及副产物利用产业化集成技术示范。

三是其他农副产物高值化利用技术研发与产品创制。针对粮油以外农副产品, 研究高水分原料多效组合无热脱水预处理技术, 优化高纤维原料蒸汽爆破工艺, 选育抗逆性强、高效降解果胶和纤维素的功能益生菌株, 优化发酵菌酶组合和工艺参数; 创新适配于不同原料的全流程工艺技术, 创制“果蔬薯”加工副产物新型饲料产品。

四是建立智能化、自动化和高通量的蛋白资源生物工程科技工程化研究平台, 实现工业农业副产物、废弃物高效转化与利用。支撑基础性、前瞻性、引领性的蛋白资源生物工程科技关键技术创新, 连接基础研究成果、企业技术需求和实际生产需求; 以共性技术、前沿引领技术、颠覆性技术创新为主攻方向, 完善蛋白资源生物工程科技及其下游制造技术, 打通一体化创新研发路径; 建立完整的以生物工程科技为核心的合成生物学、代谢工程、发酵工程等蛋白资源生物工程科技研发体系, 在缓解人畜争粮问题的同时, 保障我国蛋白饲料资源的有效供给。

3. 新型蛋白饲料资源开发利用工程

一是加快微生物蛋白饲料研发。基于乙醇梭菌、甲烷氧化菌、氢氧化菌、微藻等一碳同化微生物天然底盘细胞, 利用合成生物技术, 创建高版本合成生物体, 高效同化一碳气体生物固碳产乙醇、乙酸、脂肪、菌体蛋白和微藻蛋白。开展不同气体发酵反应动力学及工艺优化研究, 开发气体发酵-蒸馏耦合膜系统技术及高效气液传质发酵反应器装备。研发小型化、经济性的甲烷气体发酵装备及工艺技术, 秸秆气化高效生产一碳菌蛋白技术。

二是安全高效地开发和利用餐桌剩余食物。加强餐桌剩余食物快速收集、安全储运技术研究, 建立餐桌剩余食物营养评价模型及数据库, 研究储运温度、时间等对有害微生物消长规律的影响和病原微生物的控制机制。加强餐桌剩余食物饲料化利用加工工艺的优化筛选, 分析采用不同加工工艺生产的餐桌剩余食物饲料化产品的营养成分指标、消化吸收率之间、产品的安全卫生指标的差异, 筛选出最优的加工工艺; 对餐桌剩余食物饲料化产品的使用效果及安全性进行评价。

三是大力开发基于餐余垃圾、果蔬废弃物等有机废弃物生产昆虫蛋白技术, 促进黑水虻、黄粉虫等昆虫资源低成本安全生产。重点优化有机废弃物资源化利用途径, 建立不同规模的智能化成套装备, 加强环境友好型健康安全产品生产技术开发和全程评价, 形成良好性价比的产品系列。

五、结语

供需紧平衡是我国粮食安全的长期态势, 粮食安全的最突出矛盾表现在饲料粮方面。在蛋白饲料需求持续增长的态势下, 我国又面临着越来越紧的资源环境制约, 迫切需要将豆粕减量替代的潜力充分发挥出来, 保障饲料粮供给, 维护粮食安全。一方面, 应内部挖潜, 健全农民种植大豆和油料作物的收益保障机制, 合理确定大豆和油料作物生产者补贴标准, 鼓励有条件的地方探索开展饲草种植保险, 充分调动农民种植大豆和油料作物以及优质饲草积极性; 实施增值税和所得税减免优惠政策, 鼓励企业开发生产微生物蛋白等新型蛋白饲料产品; 适时出台低蛋白饲料应用补贴政策, 推广低蛋白日粮技术。另一方面, 应有序推进多元化进口战略,

开展战略性农业国际合作。明确“走出去”重点方向，加强与“一带一路”沿线国家的经贸合作关系，以境外投资和科技合作方式获取一定的海外高质量蛋白饲料供应链掌控能力。加强对国内外饲料蛋白资源市场供需形势跟踪监测，利用国际市场、卫星遥感、大数据等渠道和技术，对全球及我国蛋白饲料资源市场状况进行科学研判和预警，确定进口阈值。统筹国内国际两个市场，开源、提效、调优多措并举，据此强化豆粕减量替代，确保实现国家粮食安全。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: June 12, 2023; **Revised date:** July 13, 2023

Corresponding author: Yao Bin is a research fellow from the Institute of Animal Science of Chinese Academy of Agricultural Sciences, and a member of Chinese Academy of Engineering. His major research field is feed enzyme engineering. E-mail: yaobin@caas.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on National Grain Security Strategy in the Context of Dual Circulation” (2022-XBZD-12)

参考文献

- [1] 刘长全, 韩磊, 李婷婷, 等. 大食物观下中国饲料粮供给安全问题研究 [J]. 中国农村经济, 2023 (1): 33–57.
Liu C Q, Han L, Li T T, et al. The security of feed grains supply in China from the perspective of a big food concept [J]. Chinese Rural Economy, 2023 (1): 33–57.
- [2] 黄季焜. 对近期与中长期中国粮食安全的再认识 [J]. 农业经济问题, 2021 (1): 19–26.
Huang J K. Recognition of recent and mid-long term food security in China [J]. Issues in Agricultural Economy, 2021 (1): 19–26.
- [3] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 粮食节约行动方案 [EB/OL]. (2021-11-01)[2023-06-21]. https://www.gov.cn/zhengce/2021-11/01/content_5648085.htm.
General Office of the CPC Central Committee, General Office of the State Council. The action plan for food conservation [EB/OL]. (2021-11-01)[2023-06-21]. https://www.gov.cn/zhengce/2021-11/01/content_5648085.htm.
- [4] 李爱科, 俞婷婷, 张晓琳, 等. 新型优质发酵及酶解豆粕蛋白饲料资源开发利用现状与展望 [J]. 饲料工业, 2012, 33(22): 1–6.
Li A K, Yun T T, Zhang X L, et al. Progress in research and utilization of new high-quality fermented and enzymatic hydrolysis oilseed meals of protein feedstuff resources [J]. Feed Industry, 2012, 33(22): 1–6.
- [5] Mottet A, Falcucci A, Tempio G, et al. Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate [J]. Global Food Security, 2017 (14): 1–8.
- [6] 林玉娟. 气候变迁下中国粮食安全政策模型之经济分析 [D]. 南京: 南京农业大学(博士学位论文), 2013.
Lin Y J. Economic analysis on the policy simulation model for the China food security under climate change [D]. Nanjing: Nanjing Agriculture University (Doctoral dissertation), 2013.
- [7] Ruan Z, Mi S M, Zhou Y, et al. Protein security and food security in China [J]. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, 2015, 2(2): 144–151.
- [8] 中国饲料工业协会. 中国饲料工业年鉴 2021 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.
China Feed Industry Association. China feed industry yearbook 2021 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2022.
- [9] 司伟, 韩天富. “十四五”时期中国大豆增产潜力与实现路径 [J]. 农业经济问题, 2021 (7): 17–24.
Si W, Han T F. China’s soybean yield increase potential and realization path during the “14th Five-Year Plan” period [J]. Issues in Agricultural Economy, 2021 (7): 17–24.
- [10] 自然资源部信息中心. 《2022 年中国自然资源统计公报》解读 [EB/OL]. (2023-04-13)[2023-06-21]. http://gi.mnr.gov.cn/202304/t20230414_2781724.html.
Information Center of the Ministry of Natural Resources. Policy interpretation of *China natural resources statistics bulletin in 2022* [EB/OL]. (2023-04-13)[2023-06-21]. http://gi.mnr.gov.cn/202304/t20230414_2781724.html.
- [11] 黄祖辉, 李懿芸, 毛晓红. 我国耕地“非农化”“非粮化”的现状与对策 [J]. 江淮论坛, 2022 (4): 13–21.
Huang Z H, Li Y Y, Mao X H. The situation, drivers and countermeasures of “non-agricultural” and “non-grain” transformation of cultivated land in China [J]. Jianghuai Tribune, 2022 (4): 13–21.
- [12] 杨钰莹, 司伟. 大豆玉米带状复合种植: 技术模式、成本收益与补贴政策 [J]. 农业经济问题, 2023 (1): 49–63.
Yang Y Y, Si W. Maize-soybean relay strip intercropping system: Technical model, cost-benefit and subsidy policy [J]. Issues in Agricultural Economy, 2023 (1): 49–63.
- [13] 国家发展和改革委员会价格司, 国家发展和改革委员会价格成本调查中心. 全国农产品成本收益资料汇编 2022 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2022.
Department of Price of Development and Reform Commission, Center for Price Cost Investigation Development and Reform Commission. Compilation of national agricultural product cost benefit data [M]. Beijing: China Statistics Press, 2022.
- [14] Liu Z, Ying H, Chen M, et al. Optimization of China’s maize and soy production can ensure feed sufficiency at lower nitrogen and carbon footprints [J]. Nature Food, 2021 (2): 426–433.
- [15] 张姝, 王晓君, 吕开宇, 等. 菽玉真的不可兼得吗: 带状复合种植对玉米大豆生产的影响研究——基于局部均衡模型的模拟分析 [J]. 农业技术经济, 2022 (9): 4–19.
Zhang S, Wang X J, Lyu K Y, et al. Can soybean and corn food security really not be achieved at the same time: A study on the effects of maize-soybean strip intercropping systems on maize and soybean production: Simulation analysis based on the partial equilibrium model [J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2022 (9): 4–19.
- [16] 农业农村部. “十四五”全国种植业发展规划 [EB/OL]. (2022-04-01)[2023-06-21]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2022/202202/202204/t20220401_6395092.htm.

- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. National plantation development plan during the 14th Five-Year Plan [EB/OL]. (2022-04-01)[2023-06-21]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2022/202202/202204/t20220401_6395092.htm.
- [17] 周显青, 祝方清, 张玉荣, 等. 不同储藏年限稻谷的储藏特性、生理生化指标及其糊化特性分析 [J]. 中国粮油学报, 2020, 35(12): 108–114, 124.
- Zhou X Q, Zhu F Q, Zhang Y R, et al. Analysis of the storage property, physiological, biochemical indicators parameters and the pasting characteristics of rice in different storage time [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(12): 108–114, 124.
- [18] 张颖超, 尹守亮, 王一炜, 等. 木本饲料青贮研究进展 [J]. 生物技术通报, 2021, 37(9): 48–57.
- Zhang Y C, Yin S L, Wang Y W, et al. Research progress in woody forage silage [J]. Biotechnology Bulletin, 2021, 37(9): 48–57.
- [19] 黄志东, 张翹楚, 李惠惠, 等. 菌体蛋白作为饲料蛋白原料的研究进展 [J]. 饲料工业, 2023, 44(10): 16–21.
- Huang Z D, Zhang Q C, Li H H, et al. Research progress of bacterial protein as feed protein raw material [J]. Feed Industry, 2023, 44(10): 16–21.
- [20] 靳晨曦, 孙士强, 盛维杰, 等. 中国厨余垃圾处理技术及资源化方案选择 [J]. 中国环境科学, 2022, 42(3): 1240–1251.
- Jin C X, Sun S Q, Sheng W J, et al. Food waste treatment technology and resource solution options in China [J]. China Environmental Science, 2022, 42(3): 1240–1251.
- [21] Smetana S, Schmitt E, Mathy A. Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2019 (144): 285–296.
- [22] OECD-FAO agricultural outlook 2023—2031: OECD-FAO agricultural outlook 2022—2031 by country [EB/OL]. (2022-07-01)[2023-06-21]. <https://stats.oecd.org/>.
- [23] 黄季焜, 王济民, 解伟, 等. 现代农业转型发展与食品安全供求趋势研究 [J]. 中国工程科学, 2019, 21(5): 1–9.
- Huang J K, Wang J M, Xie W, et al. Modern agricultural transformation and trend of food supply and demand in China [J]. Strategic Study of CAE, 2019, 21(5): 1–9.
- [24] 黄季焜, 解伟, 盛誉, 等. 全球农业发展趋势及 2050 年中国农业发展展望 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(1): 29–37.
- Huang J K, Xie W, Sheng Y, et al. Trends of global agriculture and prospects of China's agriculture toward 2050 [J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(1): 29–37.
- [25] 农业农村部市场预警专家委员会. 中国农业展望报告 (2023—2032) [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2023.
- Market Early Warning Expert Committee of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs. China agricultural outlook (2023—2032) [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2023.
- [26] “中国农业发展战略研究 2050”项目综合组. 面向 2050 年我国农业发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(1): 1–10.
- The Comprehensive Group for Research on Agricultural Development Strategy in China by 2050. Strategies for China's agricultural development toward 2050 [J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(1): 1–10.
- [27] McCaugheron J H, Morgan S A, Wilkinson R G. Precision feeding emphasises dietary protein over-supply in diets for growing and finishing beef cattle [J]. Animal Science Proceedings, 2023 (2): 386–387.
- [28] 朱晶, 臧星月, 李天祥. 新发展格局下中国粮食安全风险及其防范 [J]. 中国农村经济, 2021 (9): 2–21.
- Zhu J, Zang X Y, Li T X. China's Food security risks and prevention strategy under the new development pattern [J]. Chinese Rural Economy, 2021 (9): 2–21.