

中国与主要发达国家化肥施用配置及效率对比分析

刘钦普¹, 濮励杰²

(1. 南京晓庄学院环境科学与工程重点学科组, 江苏 南京 211171;

2. 南京大学地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210093)

摘要: 结合前期创建的化肥配置效率评价模型, 同时采用联合国粮农组织 2002 ~ 2017 年各国农用氮磷钾化肥数据和主要粮食作物收获面积和产量数据, 对中国和 8 个主要发达国家(德国、法国、英国、荷兰、美国、加拿大、日本和韩国)的氮磷钾化肥施用配置及其效率进行研究, 为中国农业生产节肥增效和高质量可持续发展决策提供学术参考。研究表明: 从 2002 到 2017 年, 中国和加拿大的化肥施用强度增加较为明显, 但其他各国都有不同程度的下降。中国氮磷钾施用比例从 1:0.42:0.31 变化至 1:0.52:0.46, 化肥配置基本合理; 德国、法国、英国磷钾施用比例甚低, 氮磷钾比例平均从 1:0.25:0.35 变化到 1:0.17:0.24, 荷兰磷钾比例更低、下降更快; 美国和加拿大氮磷钾比例变化不大, 磷钾比例稍低, 目前分别为 1:0.36:0.40 和 1:0.41:0.17; 日本和韩国的磷钾比例甚高, 目前氮磷钾比例分别为 1:0.89:0.81 和 1:0.63:0.65。各国不同的氮磷钾施用模式与其农业发展特点有关, 2002 ~ 2017 年各国化肥施用综合效率除荷兰明显上升外, 其他各国基本在水平方向上不同程度地波动变化。中国、德国、法国、英国、荷兰、美国、加拿大、日本、韩国 9 个国家 2015 ~ 2017 年平均化肥综合效率分别为 0.72、0.86、0.83、0.78、0.94、0.80、0.61、0.76、0.79。中国化肥施用是次高投入、中产出, 综合效率中等; 荷兰是高投入、高产出, 综合效率最高; 加拿大是低投入、低产出, 综合效率最低; 法国和德国化肥投入中等、产量高, 综合效率高, 环境风险小。与大多数发达国家相比, 中国节肥增粮潜力很大, 可借鉴法国和德国生态农业建设经验和技术, 适当降低化肥施用量和磷钾比例, 促进农业高质量可持续发展。

关键词: 化肥施用强度; 化肥配置效率; 化肥综合效率; 主要发达国家

化肥是农业经济发展尤其粮食产量增长的重要驱动因素之一, 为保障中国 14 亿人口的粮食安全做出了巨大贡献。但是, 与世界主要农业发达国家相比, 中国的化肥施用强度偏高, 化肥过量投入引起了一些地区严重的面源污染已是不争的事实。2018 年中国农业化肥投入 5653.42 万 t, 单位播种面积施用量达 340.76 kg/hm², 分别约为国际公认的化肥施用安全上限 225 kg/hm²^[1] 和中国生态乡镇建设所规定的化肥施用强度小于 250 kg/hm² 的约束性指标^[2] 的 1.5 和 1.4 倍。2015 年中国农业部提出《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》, 2019 年中央政府又明确要求“加大农业面源污染治理力度, 开展农业节肥节药行动, 实现化肥农药使用量

负增长”^[1]。因此, 合理施用化肥、提高化肥施用效率是目前中国农业亟待解决的重要问题。

表征化肥效率的参数很多, 目前国内比较适用的是化肥偏生产力^[3-4]。近年来, 随着生产前沿面理论在国内的普及, 开始有学者将技术效率分析拓展应用到化肥效率测算上来^[5]。技术效率的测算方法一般分为 2 种: 一是参数下的随机前沿生产函数法(SFA), 二是非参数下的数据包络分析法(DEA)^[6]。杨增旭等^[7]基于 1996 ~ 2009 年中国省级面板数据, 采用 SFA 测算了小麦和玉米化肥施用的技术效率分别为 0.474 和 0.452。李静等^[8]同样用 SFA 研究得出中国粮食主产区 2006 ~ 2009 年小麦、玉米和水稻的化肥利用效率分别为 0.37、0.26 和 0.37, 并指出教育水平、收入状况、化肥价格、财政支持、种植规模等是影响化肥利用效率的重要因素。朱宁等^[9]利用粮食种植户的生产经营调查数据, 运用 DEA 方法测算的冀、豫、鲁 3 省冬小麦和夏玉米化肥利用效率分别是 0.77 和 0.64, 发现品种和地区差异效率值具有显著差异。吴小庆等^[10]运

收稿日期: 2020-08-04; 录用日期: 2020-09-01

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41230751); 国家自然科学基金面上项目(41871083); 南京市环境科学与工程重点学科项目(2017-2020)。

作者简介: 刘钦普(1957-), 男, 河南许昌人, 教授, 博士, 主要研究方向为土地资源利用与生态经济等。E-mail: liuqinpu@163.com。

用超效率 DEA 方法,发现不同水稻品种的生态效率与氮肥利用效率具有一定的正相关性。以上研究都是对国内不同地区或不同粮食作物,将氮磷钾总化肥或某单质化肥作为单项投入进行化肥效率的研究,测算效率的方法也较为复杂。本文基于联合国粮农组织的数据,将氮磷钾化肥作为 3 项投入,构建一种较为简易的多投入化肥效率测度模型,对中国和 8 个主要发达国家(英国、法国、德国、荷兰、美国、加拿大、日本和韩国)2002 ~ 2017 年的氮磷钾化肥配置和效率进行比较研究,一方面对化肥效率的测算提供新的方法,另一方面为发现中国和发达国家农业氮磷钾化肥配置和效率的变化规律及其差异,促进中国粮食生产节肥增效决策提供学术参考。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 模型构建

1.1.1 化肥相对效率

前面提及的化肥效率指标——化肥偏生产力又叫化肥产出率^[11],是指作物籽粒产量与单位面积化肥投入量之间的比值。该指标简单明了、易于理解,便于使用,但缺点是只衡量了化肥投入与农业产出之间一个简单的比例关系,且指标数值没有最高上限,不便做出效率高低的类型划分。为了便于比较不同国家(即决策单元)化肥施用效率的高低,笔者参考 DEA 方法研究技术效率^[12],基于相对值比较的思路,提出了化肥相对效率的概念,其含义是指决策单元中某一化肥偏生产力与最大化肥偏生产力的比值^[13],计算公式如下:

$$RPFP_i = PFP_i / PFP_{\max i} \quad (1)$$

$$PFP_i = Y / FI_i \quad (2)$$

式中,RPFP_i表示氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)单质肥料或总化肥中某一相对偏生产力,或叫化肥相对效率。PFP_i表示氮、磷、钾单质或总化肥中某一偏生产力(kg/kg),PFP_{maxi}表示氮、磷、钾单质或总化肥中最大偏生产力,Y表示作物单位播种面积产量(kg/hm²),FI_i表示氮、磷、钾单质或总化肥施用强度(kg/hm²),即农作物单位播种面积(或收获面积)的氮、磷、钾单质或总化肥施用量(折纯量)。

1.1.2 化肥配置效率

目前一些化肥效率研究通常是将氮、磷、钾单质化肥作为一个整体投入项,测算其化肥效率,忽

略了构成化肥的氮、磷、钾各个要素的配置(即化肥施用结构或养分比例)的影响^[7-9]。事实上,农业化肥氮、磷、钾养分结构不同,影响到作物产量和化肥施用总的效率,有些化肥施用量小,但对作物产量的贡献却很大。因此,本文笔者提出化肥配置效率的概念,即在考虑氮、磷、钾单质化肥投入数量和结构的情况下的化肥施用相对效率。其测度方法是将氮、磷、钾单质化肥相对效率分别乘以各自占 3 个相对效率和的比例后相加,然后再开平方。简单地说,化肥配置效率就是氮、磷、钾单质化肥相对效率加权平均数的开平方。其加权目的就是考虑各自效率在总效率中的作用和影响。计算公式为:

$$FSE = [(RPFP_N^2 + RPFP_P^2 + RPFP_K^2) / (RPFP_N + RPFP_P + RPFP_K)]^{1/2} \quad (3)$$

式中,FSE表示化肥配置效率,RPFP_N、RPFP_P、RPFP_K分别表示氮、磷、钾 3 个单质的化肥相对效率。

1.1.3 化肥综合效率

化肥相对效率和化肥配置效率只表示化肥施用量与作物产量的对比关系以及决策单元中某一化肥施用效率在所有化肥施用效率中的位置,但不能表示化肥施用的作物产量规模效应。例如投入 20 kg 化肥产出 600 kg 粮食的偏生产力与投入 200 kg 化肥产出 6000 kg 粮食的偏生产力一样,其相对效率也相同,但产出规模显然不同。为了体现化肥效率的作物产量规模,笔者提出了化肥综合效率的概念,是指作物产量规模系数与化肥配置效率乘积的开平方^[13],计算公式为:

$$FIE = (YS \cdot FSE)^{1/2} \quad (4)$$

$$YS = Y / Y_{\max} \quad (5)$$

式中,FIE表示化肥综合效率;YS表示产量规模系数,是指决策单元中某一单位播种面积作物产量与最高产量的比值,反映作物生产的规模效应;Y_{max}表示作物最高产量(kg/hm²)。综合效率越大,说明化肥施用数量和结构对作物产量的综合效应越好。

化肥相对效率、配置效率和综合效率的值都在 0 ~ 1 的范围,其值越接近 1,则化肥效率越高,反之亦然。参考封永刚等^[14]对技术效率的分类,将化肥效率 < 0.70、0.70 ~ 0.79、0.80 ~ 0.89、0.90 ~ 1 的变化范围分别对应为低效率、中效率、次高效率和高效率 4 个类型。

1.2 数据来源

本研究使用的9个国家的化肥施用量、粮食产量以及作物收获面积数据主要来源于联合国粮农组织的数据库^[15]。将相关数据与中国国家统计局出版的《国际统计年鉴》^[16]进行了对比,两者基本一致,并对粮食产量数据按照各国主要的3种粮食作物的收获面积进行加权平均处理。各国及其主要的粮食作物如下。中国:小麦、水稻和玉米;德国、法国和荷兰:小麦、大麦和玉米;英国:小麦、大麦和燕麦;美国:小麦、大豆和玉米;加拿大:小麦、大麦和大豆;日本:水稻、小麦和大豆;韩国:水稻、大麦和大豆。

2 结果与分析

2.1 中国及8个发达国家化肥施用强度与配置对比分析

2.1.1 化肥施用强度对比分析

根据联合国粮农组织提供的数据计算表明,从2002到2017年,中国、德国、法国、英国、荷兰、美国、加拿大、日本和韩国的农业化肥施用量分别从273.5、272.2、286.2、404.4、641.7、202.8、113.6、457.7、395.9变化到315.1、238.7、230.6、337.4、556.7、206.0、128.7、363.4、334.3 kg/hm²。为了更清楚地反映各国化肥施用强度的变化趋势及差别,对原始数据进行3年滑动平均,其变化趋势见图1。

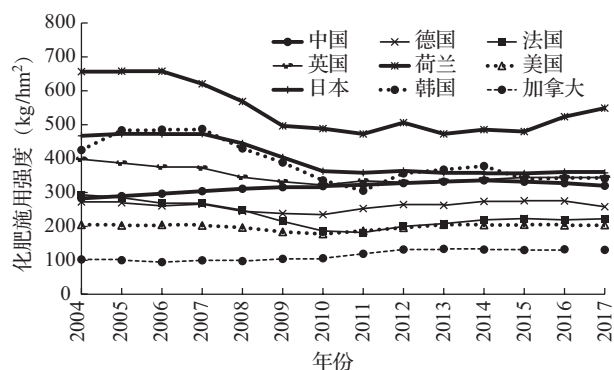


图1 中国及8个发达国家化肥施用强度3年滑动平均的变化趋势

由图1可见,2004~2017年各国化肥施用强度为100~650 kg/hm²,并有向中间聚集的趋势。从2004到2010年,中国和加拿大的化肥施用强度稍有增加,美国基本不变,其他各国都有不同程度的下降,特别是荷兰、英国、法国、日本和韩国下降明

显。2010年以后,各国的化肥施用强度变化趋于稳定,除中国、英国、日本、韩国、美国和法国分别互相接近外,各国之间差异明显。2015~2017年各国化肥施用强度的年平均值大小排序分别是荷兰(480.6 kg/hm²)、日本(358.0 kg/hm²)、英国(343.9 kg/hm²)、韩国(341.1 kg/hm²)、中国(319.9 kg/hm²)、德国(258.1 kg/hm²)、法国(222.5 kg/hm²)、美国(204.1 kg/hm²)、加拿大(130.8 kg/hm²)。参考张福锁等^[3]对化肥施用强度等级以100 kg间隔划分的方法,结合国际公认的化肥施用安全上限225 kg/hm²的标准^[1]和中国生态乡镇建设所规定的化肥施用强度小于250 kg/hm²的约束性指标^[2],将化肥施用强度 ≤ 150 、150~250、250~350、>350 kg/hm²的变化范围分别对应为低强度、中强度、次高强度、高强度4个类型,其相应的4类国家分别为加拿大,美国和法国,中国、德国、韩国和英国,日本和荷兰,这个顺序正好与各国目前人口密度的大小排序基本一致,说明各国化肥施用强度的大小与各国人口压力对粮食需求及农业发展水平有着密切的关系。

2.1.2 化肥施用配置的对比分析

化肥施用配置是指化肥施用养分结构,即氮磷钾的比例,它影响到作物产量和化肥施用效率。从2002到2017年,中国和其他8个国家的氮磷钾化肥施用比例分别发生了不同方向的变化(表1)。由表1可见,中国氮磷钾化肥消费比例从1:0.42:0.31变化到1:0.52:0.46,磷钾比例有所增加,且磷肥比例高于钾肥。根据大田作物小麦、玉米和水稻等氮磷钾施用的合理比例大约为1:0.5:0.5^[17-19],可以认为目前中国氮磷钾施肥比例基本合理,需进一步改善;德国、法国、英国的磷钾比例比较接近,并不断下降,且磷肥比例低于钾肥,目前平均约为1:0.19:0.26,荷兰的磷钾比例更低,从2002年的1:0.16:0.18下降到2017年的1:0.03:0.10;美国和加拿大的氮磷钾比例变化不大,目前分别为1:0.36:0.40和1:0.41:0.17;美国的磷肥比例低于钾肥,加拿大则相反;日本和韩国的磷钾比例比中国高得多,但有下降趋势,目前分别是1:0.89:0.81和1:0.63:0.65,其中日本的磷肥比例比韩国高,接近氮肥比例。

各国不同的氮磷钾消费模式反映了各自的农业发展特点。中国自改革开放以来,为保持粮食增产高产,化肥投入不断加大,特别是1:1:1型氮磷

钾复合肥用量快速增加, 磷钾比例持续上升。欧洲国家磷肥和钾肥的比例最低, 并不断下降, 可能与他们有机肥大量投入和秸秆还田有密切关系, 还与欧洲国家施用磷钾肥的历史早于氮肥以及对磷肥施用的环境要求严格有关。另外, 荷兰过低的磷钾比例还可能与荷兰的温室和设施农业最发达有关。荷兰温室面积约占世界温室总面积的 25%, 其中, 花卉生产占 60%, 果蔬类作物生产占 40%。在荷兰设

施栽培中, 无土栽培比例高达 80%, 设施园艺的无土栽培比例则达到 90%^[20]。无土栽培因为没有土壤的固定作用使得磷钾利用率大大提高。美国和加拿大磷钾比例偏低除与较多有机肥投入有关外, 也可能与其丰富的耕地资源及开发历史较短有关。日本和韩国的高磷高钾可能与高产水稻种植面积占比大有关。各国化肥施用结构差异的具体原因有待今后做进一步的探讨。

表 1 中国及 8 个发达国家 2002 ~ 2017 年氮磷钾比例 (N:P:K) 变化

年份	中国	德国	法国	英国	荷兰	美国	加拿大	日本	韩国
2002	1:0.42:0.31	1:0.18:0.27	1:0.32:0.44	1:0.25:0.33	1:0.16:0.18	1:0.37:0.41	1:0.40:0.20	1:1.20:0.58	1:0.60:0.61
2004	1:0.43:0.33	1:0.17:0.27	1:0.29:0.38	1:0.24:0.33	1:0.17:0.17	1:0.38:0.42	1:0.40:0.22	1:1.13:0.63	1:0.62:0.63
2006	1:0.45:0.36	1:0.17:0.28	1:0.25:0.33	1:0.22:0.31	1:0.17:0.14	1:0.35:0.39	1:0.45:0.10	1:1.08:0.66	1:0.74:0.76
2008	1:0.46:0.38	1:0.11:0.12	1:0.14:0.19	1:0.14:0.22	1:0.12:0.12	1:0.31:0.33	1:0.35:0.13	1:0.96:0.60	1:0.70:0.72
2010	1:0.47:0.40	1:0.16:0.24	1:0.14:0.21	1:0.19:0.28	1:0.14:0.24	1:0.30:0.35	1:0.32:0.15	1:0.94:0.53	1:0.69:0.71
2012	1:0.49:0.42	1:0.17:0.26	1:0.21:0.24	1:0.19:0.27	1:0.10:0.17	1:0.33:0.35	1:0.28:0.18	1:0.95:0.87	1:0.71:0.74
2014	1:0.50:0.43	1:0.17:0.25	1:0.21:0.22	1:0.19:0.26	1:0.04:0.13	1:0.35:0.39	1:0.37:0.16	1:0.91:0.87	1:0.64:0.66
2016	1:0.51:0.45	1:0.14:0.26	1:0.19:0.18	1:0.19:0.28	1:0.03:0.10	1:0.36:0.40	1:0.39:0.16	1:0.89:0.81	1:0.65:0.68
2017	1:0.52:0.46	1:0.14:0.26	1:0.20:0.21	1:0.18:0.25	1:0.03:0.10	1:0.36:0.40	1:0.41:0.17	1:0.89:0.81	1:0.63:0.65
平均	1:0.47:0.39	1:0.16:0.25	1:0.21:0.26	1:0.20:0.28	1:0.10:0.15	1:0.34:0.38	1:0.37:0.16	1:1.00:0.70	1:0.66:0.68

2.2 中国及 8 个发达国家化肥配置效率与综合效率对比分析

2.2.1 化肥配置效率对比分析

化肥施用强度和养分配置直接影响农作物产量。由于粮食作物是各国的主要农作物, 农作物产量用粮食作物产量作代表。联合国粮农组织数据库中并没有分别给出各种粮食作物的化肥施用量, 参照多项研究的做法^[21-23], 在计算化肥施用效率时, 用农作物化肥施用强度代替粮食作物化肥施用强度。利用联合国粮农组织提供的数据, 计算中国及 8 个发达国家 2002 ~ 2017 年主要的 3 种粮食作物以收获面积进行加权平均的单位面积产量, 并进行 3 年滑动平均, 其变化趋势见图 2。由图 2 可见, 2004 年以来, 各国粮食产量呈几乎平行缓慢上升的趋势。根据相近性原则, 分别按荷兰、德国、法国、英国, 中国、美国、日本、韩国, 加拿大 4 组分为粮食高产、次高产、中产和低产 4 个类型, 各类型的国家数目基本上呈两头小中间大的偏正态分布。

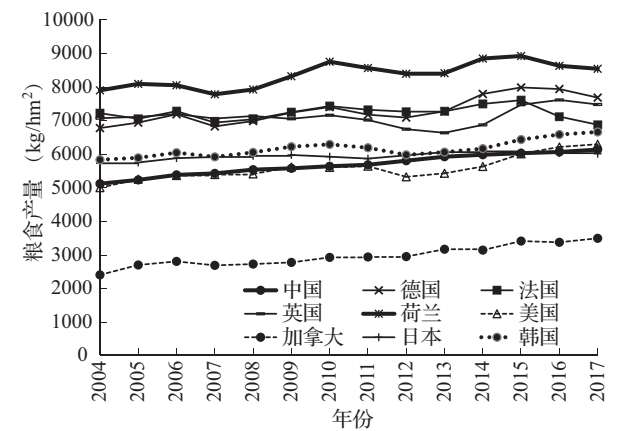


图 2 中国及 8 个发达国家粮食产量 3 年滑动平均的变化趋势

根据式 (1) ~ (3), 使用粮食产量和氮磷钾化肥施用强度数据, 计算得到中国和 8 个发达国家 2002 ~ 2017 年的化肥配置效率, 然后进行 3 年滑动平均, 得到各国化肥配置效率变化趋势 (图 3)。

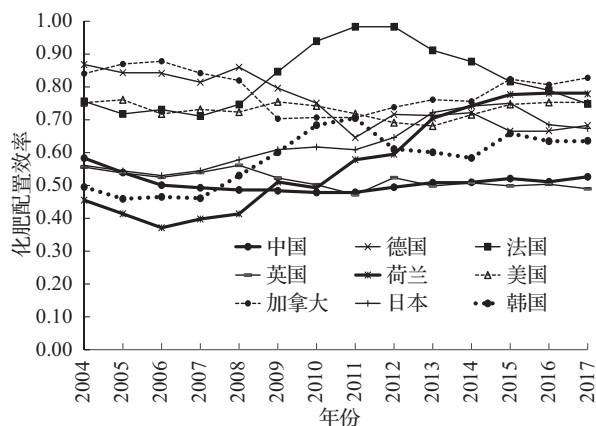


图3 中国及8个发达国家化肥配置效率3年滑动平均的变化趋势

由图3可见，各国的化肥配置效率呈现不同程度的动态波动变化，与粮食产量变化相比，层级分化不太明显。化肥配置效率的变化与粮食产量、化肥施用强度和化肥施用结构密切相关。中国化肥配置效率呈先降后稍升至平稳变化趋势，这是因为中国的化肥施用强度和粮食产量皆呈平稳变化；荷兰、日本和韩国呈明显的波动上升趋势，特别是荷兰的上升幅度最大，这是由于这些国家自2002年以来化肥施用强度下降比较明显。法国则是呈先上升后下降的弧形变化，其他国家呈小幅波动平稳变化。就近3年（2015~2017）平均来说，中国、德国、法国、英国、荷兰、美国、加拿大、日本、韩国的化肥配置效率分别为0.74、0.86、0.87、0.71、0.90、0.87、0.91、0.80、0.80，根据效率分类，中国和英国，韩国、日本、德国、法国和美国，荷兰和加拿大的化肥施用分别属于中、次高、高效率类型。由于加拿大施肥强度最低，虽然粮食产量最低，化肥配置效率却最高；英国因为较高的化肥施用强度，即使粮食产量为次高，化肥配置效率为最低。中国由于化肥施用强度低于英国，化肥配置效率比其稍高。

2.2.2 化肥综合效率对比分析

化肥配置效率没有考虑粮食产量的规模效应，使得粮食产量最低的加拿大化肥效率最高。可见，化肥配置效率在反映效率的实际应用价值和示范引导方面存在缺陷，化肥综合效率则能较好地弥补这一不足。根据式（4）、式（5），计算中国及8个发达国家2002~2017年化肥综合效率，并进行3年滑动平均，得出9个国家化肥综合效率变化趋势（图4）。

由图4可见，由于受粮食产量的影响，9个国

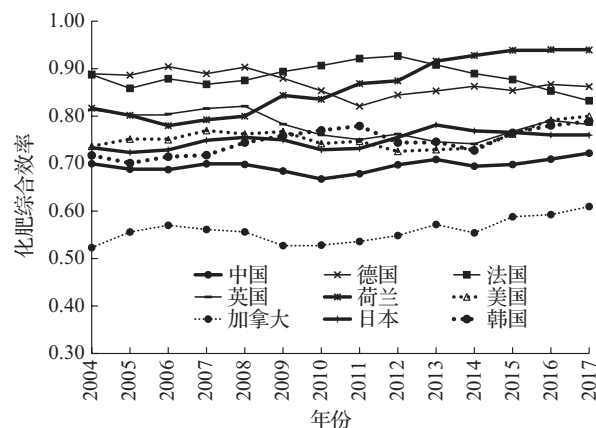


图4 中国及8个发达国家化肥综合效率3年滑动平均的变化趋势

家化肥综合效率的层次性较化肥配置效率明显改善。除荷兰呈明显的上升趋势外，其他各国基本在水平方向上呈不同程度的小幅波动变化。由于加拿大的粮食产量最低，2017年约是中国的53%、英国的45%、荷兰的37%，其化肥综合效率最小，荷兰2015~2017年化肥综合效率上升至最高。中国、德国、法国、英国、荷兰、美国、加拿大、日本、韩国的化肥综合效率近3年平均值分别为0.72、0.86、0.83、0.78、0.94、0.80、0.61、0.76、0.79。按照化肥效率分类，加拿大，中国、日本、英国和韩国，德国、法国和美国，荷兰4组分别属于低、中等、次高、高效率4个类型。荷兰是粮食生产高投入、高产出，综合效率最高；加拿大为低投入、低产出，综合效率最低；中国则是次高投入、中产出，综合效率中等。因此，化肥综合效率较好地反映了各国化肥施用效率的实际情况，有助于全面认识化肥在粮食生产中的作用和价值。

另外，粮食生产不仅要考虑化肥投入产出的效率，还要考虑化肥投入对生态环境的影响，才能做到农业高质量可持续发展。若以中国生态乡镇建设所规定的化肥施用强度小于 250 kg/hm^2 的约束性指标和国际上公认的化肥安全施用上限 225 kg/hm^2 为参考，确定化肥施用是否对生态环境可能产生不利的影响^[24]，综合比较化肥投入产出情况，9个国家中法国和德国是化肥施用量适中、环境风险小、粮食产量高、综合效率佳的国家。

3 讨论

从粮食生产化肥施用效率和农业环境保护的角度综合考虑，法国和德国的生态农业发展走在了

发达国家的前列。法国是欧盟最大的农业生产国,粮食产量超过欧盟地区粮食作物总产量的五分之一,也是世界第一大农产品加工品出口国^[25]。法国自1980年代就采取多种农业增产措施以逐渐改进生产方式,例如培育和推广高产、稳产和抗病虫害、抗逆性强的农作物品种;通过土地休耕、轮作等途径恢复并培育土壤肥力;发展生物肥料、生物固氮技术和生物防治病虫害技术等^[26]。为了减少化肥面源污染,1981年法国正式将生态农业相关标准写入法律,1985年又做出法律规定,正式命名为生态农业(简称AB),出台AB标识,生态农业由此走上了发展的快车道,一套完整的农业管理体系随之建立,从而推动法国成为欧洲第一生态农业大国^[27]。同样,德国在欧盟1991年颁布《硝酸盐指令》后为发展生态农业和防治面源污染,对化肥的施用和管理相当严格^[28]。德国的生态农业在欧洲颇有特色,其粮食、蔬菜、水果、牛奶、猪肉等主要农产品生产基本上实现了生态化,构建了标准化的农产品技术体系,尽量不使用化肥、农药,积极推广施用有机肥料,提升农产品的附加值^[29]。因此借鉴法国和德国生态农业发展的经验和技​​术有利于促进中国农业可持续发展。

欧洲国家磷肥和钾肥的比例偏低有其历史和现实背景,中国不宜盲目借鉴。中国目前的氮磷钾1:0.52:0.46的比例较为合适,但应关注磷钾比例的上升趋势。根据发达国家磷钾比例下降的趋势,今后中国的化肥配置可参考美国氮磷钾比例,随着制肥和施肥技术的提高以及有机肥的增加,可朝着1:0.4:0.4的方向发展。与发达国家相比,中国化肥施用强度高、效率低,化肥减量增效要靠生态友好型技术的支撑和相关政策和制度的保障。因此,中国要运用法律和政策手段规范肥料的施用,制定生态农业法律和长期发展规划,建立标准化的农产品生产和加工技术体系等,坚持技术指标的高标准和前瞻性。政府要在发展规划方面积极作为,向市场发出积极信号,引导社会资源向生态农业聚集。另外,8个发达国家的复种指数均比中国低,一般为0.5~0.8,大多相对稳定,荷兰、日本和韩国的复种指数还有下降趋势。而中国约为1.3,且有升高的趋势。中国复种指数区域差异大,如河南、山东、江苏、海南、广东、广西和福建等省份,复种指数高,其单位面积耕地的化肥施用强度更高。所以,中国不同复种指数地区应采取不同的减肥增效

政策和措施。

本研究计算出来的化肥配置效率与使用DEA方法的计算结果相比,平均相对误差约4%,两者每年各国之间效率数值的变化趋势有很强的相似性,2种方法计算的各国之间的平均化肥配置效率的相关系数约为0.99,各国之间的效率值排序也基本一致,有些年份完全相同。说明笔者建立的化肥配置效率模型具有一定的科学性和简单的实用性。化肥配置效率测算模型的意义不仅在于考虑化肥施用的数量,还考虑化肥施用的种类,即氮磷钾等肥料的配置情况。该模型提供了一种多种肥料投入,特别是在量纲不一致的情况下,计算总效率的有效简便方法。从计算思路来看,它不仅用于化肥配置效率的测算,还可用于其他方面资源配置多投入、单产出的生产效率测算。

4 结论

(1) 2002~2017年中国、德国、法国、英国、荷兰、美国、加拿大、日本和韩国的农业化肥施用强度为100~650 kg/hm²,并有聚集的趋势。2015~2017年荷兰的化肥施用强度最大,3年均值为557 kg/hm²,加拿大最小,为129 kg/hm²,中国居于中间,为315 kg/hm²。中国磷钾肥施用呈上升趋势,目前N:P:K为1:0.52:0.46,养分配置基本合理,仍需改善;德国、法国、英国氮磷钾比例相近,呈下降趋势,目前平均约为1:0.17:0.24,荷兰的磷钾比例更低;美国和加拿大的氮磷钾比例变化不大,两国氮磷比例相近,为1:(0.36~0.41);日本和韩国的磷钾比例远高于中国,近年稍有下降。各国不同的氮磷钾消费模式与其农业发展特点有关。

(2) 2002~2017年各国化肥施用综合效率除荷兰明显上升外,其他各国基本在水平方向上小幅度波动变化。中国、德国、法国、英国、荷兰、美国、加拿大、日本、韩国2015~2017年平均化肥综合效率分别为0.72、0.86、0.83、0.78、0.94、0.80、0.61、0.76、0.79。中国化肥施用是次高投入、中产出,综合效率中等;荷兰是高投入、高产出,综合效率最高;加拿大为低投入、低产出,综合效率最低;法国和德国为投入中等、产出高,综合效率高、环境风险小,可为中国生态农业建设提供借鉴。

本研究提出的化肥配置效率模型简单实用,计

算结果与使用 DEA 方法的结果基本一致, 比较准确地反映了粮食生产中多种化肥投入的效率。

参考文献:

- [1] 刘钦普, 濮励杰. 中国粮食主产区化肥施用时空特征及生态经济合理性分析[J]. 农业工程学报, 2019, 35 (23): 142-150.
- [2] 环境保护部. 关于印发《国家级生态乡镇申报及管理规定(试行)》的通知[EB/OL]. (2010-06-23)[2020-03-28]. <http://www.jhepb.gov.cn/html/news/20150818/15303.shtml>.
- [3] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45 (5): 915-924.
- [4] 武良, 张卫峰, 陈新平, 等. 中国农田氮肥投入和生产效率[J]. 中国土壤与肥料, 2016 (4): 76-83.
- [5] 史常亮, 朱俊峰, 栾江. 我国小麦化肥投入效率及其影响因素分析: 基于全国 15 个小麦主产省的实证[J]. 农业技术经济, 2015 (11): 69-78.
- [6] 陶素敏. 东中西部地区化肥技术效率测算: 基于前沿面生产函数分析[J]. 粮食科技与经济, 2019, 44 (12): 61-65.
- [7] 杨增旭, 韩洪云. 化肥施用技术效率及影响因素: 基于小麦和玉米的实证分析[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16 (1): 140-147.
- [8] 李静, 李晶瑜. 中国粮食生产的化肥利用效率及决定因素研究[J]. 农业现代化研究, 2011, 32 (5): 565-268.
- [9] 朱宁, 马骥. 粮食生产中化肥利用率的测算及其决定因素分析[J]. 技术经济, 2014, 33 (9): 91-96.
- [10] 吴小庆, 徐阳春, 陆根法. 基于超效率 DEA 模型的农业生态效率评价: 以盆栽水稻试验为例[J]. 生态经济, 2009 (3): 30-33.
- [11] 周芳, 金书秦. 产出率视角下的农业化肥利用率国际比较[J]. 世界农业, 2016 (4): 35-44.
- [12] 侯智慧, 梅连杰, 侯安宏, 等. 内蒙古农业资源配置效率分析[J]. 中国农业资源与区划, 2014, 35 (3): 71-77.
- [13] 刘钦普, 孙景荣, 濮励杰. 中国与欧美主要国家化肥施用强度及综合效率比较研究[J]. 农业工程学报, 2020, 36 (14): 9-16.
- [14] 封永刚, 彭珏, 邓宗兵, 等. 面源污染、碳排放双重视角下中国耕地利用效率的时空分异[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25 (8): 18-25.
- [15] FAOSTAT. data [EB/OL]. (2020-03-28)[2020-03-28]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- [16] 国家统计局. 国际统计年鉴[EB/OL]. (2020-03-28)[2020-03-28]. <http://data.stats.gov.cn/>.
- [17] 王激清, 马文奇. 五大因素影响化肥氮磷钾消费比例合理化[J]. 中国农资, 2006 (6): 14-15.
- [18] 吴欢欢, 李若楠, 张彦才, 等. 我国缓 / 控释肥料发展现状、趋势及对策[J]. 华北农学报, 2009, 24 (S2): 263-267.
- [19] 于左, 高建凯. 中国玉米价格竞争力缺失的形成机制与政策[J]. 农业经济问题, 2013 (8): 10-19.
- [20] 包乌兰托亚, 郑丹. 中国与荷兰农业合作发展的现实基础与路径选择[J]. 安徽农业科学, 2018, 46 (21): 216-219.
- [21] 曾希柏, 李菊梅. 中国不同地区化肥施用及其对粮食生产的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37 (3): 387-392.
- [22] 王祖力, 肖海峰. 化肥施用对粮食产量增长的作用分析[J]. 农业经济问题, 2008 (8): 65-68.
- [23] 刘钦普. 中国化肥投入区域差异及环境风险分析[J]. 中国农业科学, 2014, 47 (18): 3596-3605.
- [24] 连煜阳, 刘静, 吴亚男. 中国化肥施用环境风险评价研究[J]. 经济研究参考, 2018 (33): 10-16.
- [25] 谭金芳, 邓俊锋, 胡明忠, 等. 论法国发展现代农业的经验与启示[J]. 河南工业大学学报(社会科学版), 2016, 12 (2): 8-11, 19.
- [26] 周淑景. 法国农业持续发展的特征与前景[J]. 世界经济, 1996 (11): 56-60.
- [27] 张莉, 张敬毅, 程晓宇, 等. 法国生态农业发展的成效、新措施及启示[J]. 世界农业, 2019 (11): 18-23.
- [28] 刘钦普, 林振山, 濮励杰. 中哈德 3 国化肥施用生态经济合理性动态比较与启示[J]. 中国土壤与肥料, 2019 (6): 99-107.
- [29] 成福伟. 发达国家现代农业园区的发展模式及借鉴[J]. 世界农业, 2017 (1): 13-17.

Comparison of fertilizer allocation and integrated efficiency between China and major developed countries

LIU Qin-pu¹, PU Li-jie² (1. Research Group of Environmental Science and Engineering Key Discipline of Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing Jiangsu 211171; 2. School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing Jiangsu 210093)

Abstract: Based on models of fertilization efficiency assessment set up by authors and data from United Nation Food and Agriculture Organization, this paper comparatively analyzed the nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) fertilizer allocation and efficiency in China and the developed countries including Germany, France, UK, Netherlands, USA, Canada, Japan and Korea for reducing fertilizer application and high quality sustainable agricultural development in China. The results were as follows: fertilization intensity was increasing in China and Canada from 2002 to 2017, and decreasing in other 7 countries; the proportion of N : P : K consumed changed from 1 : 0.42 : 0.31 to 1 : 0.52 : 0.46 in China, and the fertilizer allocation was basically reasonable; the application ratio of NPK in Germany, France and UK was very low, and the ratio of NPK changed from 1 : 0.25 : 0.35 to 1 : 0.17 : 0.24; the ratio of PK in the Netherlands is lower and the

decline is faster. There were little changes of N : P : K consumption in USA and Canada with 1 : 0.36 : 0.40, 1 : 0.41 : 0.17, respectively at present. Meanwhile, Japan and Korea have higher proportion of N : P : K with the values of 1 : 0.89 : 0.81 and 1 : 0.63 : 0.65, respectively at present. The different application pattern of NPK in various countries are related to the characteristics of their agricultural development. The fertilization integrated efficiency (FIE) of all countries varied with little fluctuation in the horizontal direction, except that Netherlands's FIE was increasing between 2002 and 2017. Averages of FIE from 2015 to 2017 of China, Germany, France, UK, Netherlands, USA, Canada, Japan, Korea were 0.72, 0.86, 0.83, 0.78, 0.94, 0.80, 0.61, 0.76, 0.79, respectively. China's fertilization belonged to sub-high input, mid-output and low FIE; Netherlands was of high input, high output and high FIE; UK, Japan and Korea were of sub-high input, medium FIE; USA and Canada were of medium input-and-FIE and low input-and-FIE, respectively; France and Germany belonged to medium input, sub-high output, sub-high FIE, and low environmental risk. So China has lower fertilization efficiency and high potentials for reducing fertilizers and increasing grain yield, and should draw on the experiences and technologies from France and Germany and pay more attention to reducing fertilizer use, especially P and K fertilizer to construct ecological agriculture.

Key words: fertilization intensity; efficiency of fertilizer allocation; fertilization integrated efficiency; major developed countries



江苏省淮安大华生物科技有限公司 为您提供……
高效、绿色、环保发酵剂——酵素菌速腐剂



许可证号：微生物肥（2003）准字（0107）号、国环有机农业生产资料认证号：OP-0109-932-201

淮安市大华生物科技有限公司是以研制生产酵素菌系列微生物制品为主的科技型企业，集科研、生产、销售于一体，技术力量雄厚、设备先进、设施完善。本公司主要产品微生物发酵剂——酵素菌速腐剂，是采用生物技术制成的一种好（兼）气性复合微生物制剂，高效、绿色、环保，内含大量有益微生物、活性酶，适用于秸秆腐熟、畜禽粪便处理、垃圾堆肥、污泥堆肥和饼粕肥、农家肥等有机物固体发酵和人畜粪便液体发酵，是生产有机生物肥的优质、高效发酵剂。

主要功效：1. 发酵分解能力强，快速腐熟有机材料。2. 改良土壤，增强地力。3. 增产效果显著。4. 减轻病虫害，克服连作障碍。5. 改善农产品品质。我公司可为生物有机肥生产厂家提供发酵原料配比、工艺等资料。

机插秧育苗专用肥——机插水稻育苗基质

[苏农肥（2005）准字 0365-02 号]

机插水稻育苗基质（拌土型）是根据无土栽培学、植物营养学、肥料学、土壤微生物生态学原理研制而成，内含有多钟有益微生物、有机物及植物所需的大量、微量平衡营养元素，既是一种栽培基质又是一种良好的土壤调理剂。根据江苏农垦多年应用结果，具有“五省三增”的效果，即：省工、省肥、省药、省地、省机械费用，增加产量、增强抗病性、增加效益。

功效特点：1. 改良育秧土壤结构，提高土壤通透性和保水性能，提高养分利用率。2. 有机、无机、微生物肥三元配比科学，营养全面，苗期无需追肥。3. 根际形成的优势菌种能抑制和减少病原菌的产生，减轻病虫害的发生，增强植物抗性。4. 采用天然可降解有机物等经多重生化处理制成，属绿色环保型产品，符合绿色无公害农业的要求。5. 节本增效，每盘育苗成本仅需 0.2 元。

我公司还生产国环有机认证产品“华丰有机液肥”，并为有机基地提供种植方案，现诚征各地经销代理商。

地址：江苏省淮安市楚州区白马湖农场 邮编：223216

电话：0517-85751101、85751488 传真：0517-85751488

联系人：陈忠良 手机：18952315919 网址：<http://www.jsdh.com> E-mail: dahua@jsdh.com