

doi:10.13582/j.cnki.1672-7835.2020.04.011

# 中国粮食作物化肥施用与单产增长的相互演进态势及其地区差异分析

郭珍

(湖南科技大学 商学院,湖南 湘潭 411201)

**摘要:**1996年以来,在三种粮食作物中,稻谷化肥施用强度与单产增长之间逐步实现脱钩,玉米化肥施用强度与单产增长之间的关系变为强脱钩状态但不稳定,而小麦化肥施用强度与单产增长之间的脱钩状态最不理想;1996年以来,在不同稻谷品种中,中籼稻化肥施用强度与单产增长之间的关系转向稳定的弱脱钩,而早籼稻、晚籼稻化肥施用强度与单产增长之间的强脱钩状态还需进一步检验,粳稻化肥施用强度与单产增长之间的关系波动较大;2016~2018年间,不管是稻谷还是小麦抑或是玉米,在化肥施用强度与单产增长之间的脱钩状态上都呈现出明显的地区差异,有些主产省份表现出强脱钩的理想状态,而有些主产省份却表现出强负脱钩的非理想状态。

**关键词:**粮食作物;化肥施用强度;单产;脱钩状态;地区差异

**中图分类号:**F32 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-7835(2020)04-0080-06

党的十九大报告提出,要“确保国家粮食安全,把中国人的饭碗牢牢端在自己手中”。1978~2018年间,中国粮食产量从30 476.5万吨增加到65 789.2万吨,人均粮食产量从316.6公斤上升到471.5公斤,中国以世界9%的耕地养活了世界21%的人口,在保障国家粮食安全上成效显著。粮食产量由粮食播种面积与粮食单产决定,中国粮食产量的提高主要来源于粮食单产的快速提升,1978~2018年间,粮食播种面积从120 587.2千公顷下降到117 038.2千公顷,粮食单产从2 527.3公斤/公顷增加到5 621.2公斤/公顷,粮食单产的年均增长率达2.02%。化肥作为粮食的“粮食”,主要通过作用于粮食单产的方式提高粮食总产量,属“增产型”技术<sup>①</sup>,相关研究表明,化肥施用对中国粮食产量有显著正向影响<sup>②</sup>,不施

化肥和施用化肥的作物单产相差可达55%~65%<sup>③</sup>,在我国耕地基础地力偏低的情况下,化肥施用对粮食增产的贡献在40%以上<sup>④</sup>。化肥在促进粮食和农业生产发展中起了不可替代的作用,但目前也存在化肥过量施用、盲目施用等问题,2018年中国三种粮食作物(稻谷、小麦、玉米)平均化肥投入达到374公斤/公顷,是国际公认的化肥施用安全上限225公斤/公顷的1.66倍。

化肥过量施用、盲目施用不仅增加农业生产成本,也造成耕地土壤酸化、耕地土壤污染、耕地土壤养分失衡,且过量或不均衡的化学肥料的投入对环境、人类健康和生态系统构成风险。自20世纪80年代以来中国农田土壤pH值平均下降了约0.5个单位,相当于土壤酸量(H<sup>+</sup>)在原有基础上增加了2.2倍<sup>⑤</sup>。由于氮肥的过量施用,我国

收稿日期:2019-11-11

基金项目:湖南省哲学社会科学基金项目(19YBQ048)

作者简介:郭珍(1987—),女,湖南冷水江人,博士,副教授,主要从事土地利用与政策研究。

①朱满德,李辛一,徐雪高:《化肥施用强度对中国粮食单产的影响分析——基于省级面板数据的分位数回归》,《农业现代化研究》2017年第4期。

②王祖力,肖海峰:《化肥施用对粮食产量增长的作用分析》,《农业经济问题》2008年第8期。

③张福锁:《科学认识化肥的作用》,《中国农技推广》2017年第1期。

④农业部:《农业部关于印发〈到2020年化肥使用量零增长行动方案〉和〈到2020年农药使用量零增长行动方案〉的通知》,《中华人民共和国农业部公报》2015年第3期。

⑤GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, et al. “Significant acidification in major Chinese croplands”, *Science*, 2010(5 968):1 008-1 010.

许多地区的地下水硝酸盐含量已严重超标<sup>①</sup>。据《全国土壤污染状况调查公报》显示,全国耕地土壤点位超标率为 19.4%。当前,由于过量施用化肥而引发的农业面源污染已成为生态治理与农业发展的内生性结构障碍<sup>②</sup>。面对日益严重的化肥滥用问题以及由此引发的生态环境困境,2015 年农业部出台了《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》,要求 2015~2019 年,逐步将化肥使用量年增长率控制在 1%以内;力争到 2020 年,主要农作物化肥使用量实现零增长。在化肥使用量零增长的目标下,粮食单产会发生怎样的变化?是否所有粮食作物在化肥施用强度与单产增长的关系上都表现出相同的特征?同一时期不同地区粮食化肥施用强度与单产增长的关系是否一致?如何才能实现粮食化肥施用强度与单产增长脱钩以在保障粮食有效供给的同时促进农业可持续发展?本文将运用弹性脱钩指数研究不同时期稻谷、小麦、玉米这三种主要粮食作物化肥施用强度与单产增长的相互演进态势,并分析 2016~2018 年稻谷、小麦、玉米主产省份粮食化肥施用强度与单产增长在脱钩状态上是否存在差异,从而为降低直至阻断粮食单产增长与化肥过度施用之间的关联性提供实证基础。

## 一 研究方法 with 数据来源

### (一) 弹性脱钩指数

脱钩指具有相应关系的两个或多个物理量之间的响应关系不存在。OECD 在环境领域使用的脱钩概念被广为接受,其将脱钩定义为经济增长与环境冲击耦合关系的破裂。世界银行则将资源环境领域的脱钩定义为,无论是原材料和能源投入,还是排放物和废弃物,经济活动过程中环境冲击逐步减少的过程,既包括去物质化,也包括去污染化。虽然 OECD 和世界银行对脱钩的定义有所差异,但内涵基本一致<sup>③</sup>。脱钩理论主要应用于政策研究领域,用来探讨如何降低直至阻断经济发展与环境损坏、资源过度消耗之间的关联性。化肥是粮食生产重要的物质投入,在粮食生产过程中过量施用会对环境造成污染,因而,用脱钩理论研究粮食单产和化肥施用强度之间的相互演进

态势能为化肥的合理施用提供重要参考。具体而言,评价脱钩程度的常用方法有 OECD 脱钩指数法、多变量分析法、弹性分析法、分解技术分析法、IPAT 模型推导法等。由于弹性分析法采用弹性动态反映变量之间的脱钩关系,计算结果相对稳定,在国内外文献中得到了最广泛的应用<sup>④</sup>,因而,本文将采用弹性分析法研究粮食单产与化肥施用强度之间的相互演进态势。弹性脱钩指数的计算公式如下:

$$D^t = \frac{\delta F^t}{\delta Y^t} = \frac{\frac{F^t - F^0}{F^0}}{\frac{Y^t - Y^0}{Y^0}}$$

式中: $D^t$  为脱钩指数; $\delta F^t$  为化肥施用强度弹性系数; $\delta Y^t$  为粮食单产增长弹性系数; $F^t$  和  $F^0$  分别为  $t$  时期和初期的化肥施用强度; $Y^t$  和  $Y^0$  分别为  $t$  时期和初期的粮食单产。

Petri Tapio(2005)采用弹性分析法评价脱钩状态时将脱钩状态分为 8 种类型(见表 1)。其中,强脱钩是粮食单产持续增长、化肥施用强度下降的最理想状态;强负脱钩是粮食单产下降,但是化肥施用强度持续增长的不利状态。

表 1 弹性脱钩指数的划分标准

脱钩状态	变量指标		
	$\delta F^t$	$\delta Y^t$	$D^t$
强脱钩	< 0	> 0	$D^t < 0$
脱钩	> 0	> 0	$0.8 \geq D^t > 0$
衰退脱钩	< 0	< 0	$D^t > 1.2$
连结	> 0	> 0	$1.2 \geq D^t > 0.8$
衰退连结	< 0	< 0	$1.2 \geq D^t > 0.8$
弱负脱钩	< 0	< 0	$0.8 \geq D^t > 0$
负脱钩	> 0	> 0	$D^t > 1.2$
强负脱钩	> 0	< 0	$D^t < 0$

### (二) 数据来源

本文将从全国层面分析 1996~2000 年、2001~2005 年、2006~2010 年、2011~2015 年、2016~2018 年稻谷、小麦、玉米这三种主要粮食作物单产增长与化肥施用强度之间的脱钩状态,其中稻谷包括早籼稻、中籼稻、晚籼稻、粳稻。另外,

<sup>①</sup>张维理,武淑霞,冀宏杰,等:《中国农业面源污染形势估计及控制对策 I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计》,《中国农业科学》2004 年第 7 期。

<sup>②</sup>詹国辉,刘邦凡,张瑾:《农业面源污染的适应性治理:国际经验、限度与路径选择——基于雄安—白洋淀水域的实证考察》,《河北经贸大学学报》2018 年第 2 期。

<sup>③</sup>陈景新,王云峰:《我国劳动密集型产业集聚与扩散的时空分析》,《统计研究》2014 年第 2 期。

<sup>④</sup>陈景新,王云峰:《我国劳动密集型产业集聚与扩散的时空分析》,《统计研究》2014 年第 2 期。

还将分析 2016~2018 年粮食单产与化肥施用强度脱钩状态的地区差异。在分析地区差异时综合考虑粮食种植区域特征及数据可得性,选取三种粮食作物主产省份(包括直辖市、自治区)为研究对象(见表 2)。粮食作物单产及化肥施用强度数据来自《建国以来全国主要农产品成本收益资料汇编(1953~1997 年)》及《全国农产品成本收益资料汇编(1999~2019 年)》,化肥施用强度使用的具体指标为粮食作物每亩化肥折纯量(公斤),

单产使用的具体指标为粮食作物每亩主产品产量(公斤)。需要说明的是,虽然《建国以来全国主要农产品成本收益资料汇编(1953~1997 年)》提供了 1984~1997 年的化肥施用数据,但数据波动大,如稻谷 1990 年每亩化肥折纯用量为 68.29 公斤,而 1991 年急剧下降为 29.51 公斤,这表明化肥施用数据存在“失真”的可能,因而,为了使数据可比,本文选用的时间起点为 1996 年。

表 2 早籼稻、中籼稻、晚籼稻、粳稻、小麦、玉米主产省份

区域划分	早籼稻、晚籼稻(9 个省份)	中籼稻(11 个省份)	粳稻(13 个省份)	小麦(15 个省份)	玉米(20 个省份)
东北地区	—	—	辽宁、吉林、黑龙江	黑龙江	黑龙江、吉林、辽宁
黄淮海地区	—	河南	河北、山东、河南	山东、河北、河南	山东、河南、河北
长江中下游地区	浙江、安徽、福建、江西、湖北、湖南	江苏、安徽、福建、湖北、湖南	江苏、浙江、安徽、湖北	江苏、安徽、湖北	江苏、安徽、湖北
华南地区	广东、广西、海南	—	—	—	广西
北部高原地区	—	陕西	内蒙古、宁夏	山西、内蒙古、陕西、宁夏	山西、陕西、内蒙古、宁夏
西南地区	—	重庆、四川、贵州、云南	云南	四川、云南	四川、重庆、云南、贵州
西北地区	—	—	—	甘肃、新疆	甘肃、新疆

## 二 实证结果与分析

### (一) 主要粮食作物化肥施用强度与单产增长弹性脱钩状态分析

横向比较不同粮食作物化肥施用强度与单产增长的脱钩状态。不同粮食作物化肥施用强度与单产增长的脱钩状态在有些时期具有一致性,在有些时期则表现出明显的差异性(见表 3)。1996~2000 年,稻谷与玉米化肥施用强度与单产增长之间表现出强负脱钩状态,稻谷与玉米化肥施用强度大幅增长,但单产却出现下降趋势,其中,稻谷脱钩指数更是高达-67.43;小麦表现出拓张性负脱钩状态,虽然小麦化肥施用强度与单产都增长,但化肥施用强度增长趋势明显高于单产增长趋势,脱钩指数高达 322.96;在这一时期,三种粮食作物化肥施用强度急剧上升,但粮食单产并没有随之大幅增加,甚至出现下降趋势,两者之间处于非理想状态。2001~2005 年,稻谷化肥施用强度与单产增长之间表现出拓张性负脱钩状态,化肥施用量增长对稻谷生产的增产效应不显著;而小麦和玉米化肥施用强度与单产增长之间则表现出脱钩关系,特别是玉米表现出在化肥施用强度下降的同时单产大幅增长的强脱钩理想状态。2006~2010 年,稻谷、小麦、玉米化肥施用强度与单产增长之间的关系都表现为拓张性负脱

钩,这一时期三种粮食作物化肥施用强度和单产增长双升,且化肥施用强度的增长趋势显著高于单产增长的趋势。2011~2015 年,稻谷化肥施用强度与单产之间表现出相对乐观的弱脱钩状态,虽然化肥施用强度有所增加,但单产增加得更快;小麦表现出拓张连结状态,两者的增长幅度比较一致;玉米则表现出拓张性负脱钩状态,玉米  $\delta F^t$  变动为 0.08,而同时期  $\delta Y^t$  变动仅为 0.035。2016~2018 年,稻谷与玉米化肥施用强度出现负增长,单产实现增长,表现出强脱钩的理想状态;但小麦却表现出强负脱钩状态,化肥施用强度增长,单产却下降,处于非理想状态。综合各时期来看,在三种粮食作物中,小麦化肥施用强度与单产增长之间的脱钩状态最不理想。

纵向比较不同时期粮食作物化肥施用强度与单产增长的脱钩状态。从稻谷脱钩指数  $D^t$  的变动态势来看,1996~2000 年脱钩指数为负值,化肥施用强度增长而单产负增长,两者之间处于非理想状态;2001~2005 年、2006~2010 年、2011~2015 年稻谷脱钩指数  $D^t$  变为正值,脱钩指数  $D^t$  呈现渐次减小趋势;2016~2018 年稻谷脱钩指数  $D^t$  再次变为负值,稻谷化肥施用强度负增长,而单产实现增长。总体而言,稻谷化肥施用强度与单产增长的脱钩状态趋于好转,从最初的强负脱

钩到拓张性负脱钩、弱脱钩到强脱钩,稻谷化肥施用强度增长趋势逐步放缓直至出现负增长,稻谷单产总体呈现出增长的趋势。不同时期小麦脱钩指数  $D'$  变化较大,1996~2000 年,小麦化肥施用强度增长幅度显著高于单产增长幅度,脱钩指数高达 322.96,呈现拓张性负脱钩状态;2001~2005 年小麦化肥施用强度与单产增长之间变为弱脱钩状态;2006~2010 年,小麦化肥施用强度与单产增长之间的关系又变为拓张性负脱钩状态;而在 2011~2015 年,两者之间的关系又有所改善,小麦单产增长幅度稍高于化肥施用强度增长幅度;2016~2018 年,小麦脱钩指数  $D'$  变为负值,化肥施用强度增长而单产却下降,呈现强负脱钩状态。

总体而言,小麦化肥施用强度增长速度放缓,但小麦化肥施用强度上升带来的单产的增长效应逐步降低,在 2015 年农业部提出化肥使用量零增长目标后,小麦化肥施用强度仍然在上升,但小麦单产却出现负增长。不同时期玉米化肥施用强度与单产之间的脱钩状态表现出较大差别,1996~2000 年,玉米脱钩指数  $D'$  为负值,化肥施用强度  $\delta F'$  变动为 0.185,而单产为负增长,处于强负脱钩状态;而之后的 2001~2005 年玉米化肥施用强度与单产增长之间实现了强脱钩;2006~2010 年、2011~2015 年玉米化肥施用强度与单产增长之间的关系又回到拓张性负脱钩状态;2016~2018 年又出现强脱钩的理想状态。

表 3 不同时期三种粮食作物化肥施用强度与单产增长的脱钩状态

时期	稻谷				小麦				玉米			
	$\delta F'$	$\delta Y'$	$D'$	脱钩状态	$\delta F'$	$\delta Y'$	$D'$	脱钩状态	$\delta F'$	$\delta Y'$	$D'$	脱钩状态
1996~2000	0.114	-0.002	-67.43	强负脱钩	0.310	0.001	322.96	拓张性负脱钩	0.185	-0.080	-2.304	强负脱钩
2001~2005	0.024	0.009	2.700	拓张性负脱钩	0.148	0.246	0.602	弱脱钩	-0.081	0.114	-0.707	强脱钩
2006~2010	0.044	0.026	1.663	拓张性负脱钩	0.132	0.052	2.556	拓张性负脱钩	0.123	0.069	1.777	拓张性负脱钩
2011~2015	0.038	0.061	0.632	弱脱钩	0.075	0.081	0.925	拓张连结	0.080	0.035	2.266	拓张性负脱钩
2016~2018	-0.004	0.015	-0.240	强脱钩	0.002	-0.092	-0.024	强负脱钩	-0.002	0.014	-0.115	强脱钩

通过分析稻谷化肥施用强度与单产增长之间的相互演进态势,发现随着时间的推移,稻谷化肥施用强度与单产增长之间逐步实现脱钩,接下来分析不同稻谷品种化肥施用强度与单产增长之间的脱钩状态上是否具有 consistency。不同稻谷品种在化肥施用强度与单产增长的脱钩状态存在明显差异(表 4)。1996~2000 年、2001~2005 年、2011~2015 年早籼稻化肥施用强度与单产增长之间都

呈现出拓张性负脱钩状态,2006~2010 年早籼稻化肥施用强度与单产增长之间为强负脱钩关系,在这几个时期,早籼稻化肥施用强度增长趋势显著高于单产增长趋势。2016~2018 年早籼稻化肥施用强度与单产增长之间开始出现强脱钩状态,在化肥施用强度下降的同时单产实现较大增长,两者之间处于理想状态,但脱钩的稳定性还需进一步检验。1996~2000 年、2001~2005 年中籼稻

表 4 不同稻谷品种化肥施用强度与单产增长的脱钩状态

时期	早籼稻				中籼稻				晚籼稻				粳稻			
	$\delta F'$	$\delta Y'$	$D'$	脱钩状态	$\delta F'$	$\delta Y'$	$D'$	脱钩状态	$\delta F'$	$\delta Y'$	$D'$	脱钩状态	$\delta F'$	$\delta Y'$	$D'$	脱钩状态
1996~2000	0.055	0.007	8.00	拓张性负脱钩	0.228	0.003	73.80	拓张性负脱钩	0.106	0.012	8.709	拓张性负脱钩	0.085	-0.025	-3.414	强负脱钩
2001~2005	0.017	0.002	8.88	拓张性负脱钩	0.115	0.030	3.85	拓张性负脱钩	0.061	-0.021	-2.873	强负脱钩	-0.055	0.018	-2.999	强脱钩
2006~2010	0.035	-0.007	-5.29	强负脱钩	0.073	0.120	0.606	弱脱钩	0.017	0.001	19.827	拓张性负脱钩	0.049	-0.010	-4.868	强负脱钩
2011~2015	0.033	0.025	1.31	拓张性负脱钩	0.057	0.092	0.625	弱脱钩	0.077	0.088	0.877	拓张连结	-0.004	0.038	-0.098	强脱钩
2016~2018	-0.013	0.029	-0.472	强脱钩	0.001	0.026	0.056	弱脱钩	-0.019	0.011	-1.669	强脱钩	0.018	-0.004	-4.528	强负脱钩

化肥施用强度与单产增长之间的关系为拓张性负脱钩状态,2006~2010年、2011~2015年、2016~2018年中水稻化肥施用强度与单产增长之间的关系转变为弱脱钩状态,中水稻化肥施用强度与单产之间的脱钩指数逐步降低,从最初的73.8下降到0.056,两者之间的关系逐步乐观。在1996~2000年、2001~2005年、2006~2010年晚水稻化肥施用强度与单产增长之间的关系处于负脱钩状态,2011~2015年晚水稻单产增长趋势高于化肥施用强度增长趋势,而后2016~2018年处于强脱钩状态,总体而言,晚水稻化肥施用强度与单产增长之间的关系趋于好转。粳稻化肥施用强度与单产增长之间的脱钩状态波动较大,各时期的脱钩指数均为负值,从最不理想的强负脱钩到理想状态的强脱钩之间循环。

(二)不同粮食作物化肥施用强度与单产增长脱钩状态的地区差异分析

2015年农业部(现为农业农村部)提出化肥使用量零增长的具体目标后,化肥施用强度增长趋势得到遏制,2016~2018年,稻谷和玉米化肥施用强度与单产增长之间的关系转变为强脱钩状态,小麦化肥施用强度与单产增长之间虽然表现出强负脱钩状态,但脱钩指数很小,其中化肥施用强度变动仅为0.002,综合而言,粮食作物化肥施用强度与单产增长之间的关系趋于较为理想的状态。那么,粮食作物化肥施用强度与单产增长的关系在主产省份是趋同还是存在差异,下文将进行具体分析。在9个早水稻主产省份中,浙江、安徽、福建、湖北、广

西、湖南等6个省份早水稻化肥施用强度与单产增长之间呈现脱钩的理想状态,其中5个省份位于长江中下游地区,广东出现化肥施用强度与单产双降趋势,江西、海南等2个省则呈现负脱钩状态。在11个中水稻主产省份中,湖北、重庆、四川、安徽、福建等5个省份化肥施用强度与单产增长之间实现强脱钩或弱脱钩,云南处于衰退脱钩状态,江苏处于衰退连结状态,湖南、陕西、河南、贵州等4个省处于负脱钩状态。与早水稻相比,9个晚水稻主产省份中化肥施用强度与单产增长之间的关系处于理想的强脱钩状态的省份较少,而处于负脱钩状态的省份较多,且除了福建、湖南外,大部分省份早水稻与晚水稻的脱钩状态相反,如江西晚水稻处于强脱钩状态而早水稻处于拓张性负脱钩状态,湖北早水稻处于强脱钩状态而晚水稻处于拓张性负脱钩状态。在13个粳稻主产省份中,有江苏、浙江、山东、湖北、云南等5个省处于强脱钩的理想状态,内蒙古、辽宁、黑龙江、河南等4个省份表现出强负脱钩的非理想状态。在15个小麦主产省份中,化肥施用强度与单产增长之间的关系表现为强脱钩状态的只有云南和新疆,而河北、安徽、湖北、甘肃、宁夏等5个省份表现为强负脱钩的非理想状态。在20个玉米主产省份中,除山西外的北部高原地区、西北地区化肥施用强度与单产增长实现脱钩,而大部分传统的粮食主产区省份两者之间的关系则不太理想。通过分析发现,不管是稻谷还是小麦抑或是玉米,在化肥施用强度与单产增长之间的脱钩状态上都呈现出明显的地区差异。

表5 2016~2018年粮食作物化肥施用强度与单产增长脱钩状态的地区差异

	强脱钩	弱脱钩	衰退脱钩	拓张连结	衰退连结	弱负脱钩	拓张性负脱钩	强负脱钩
早水稻	浙江、安徽、福建、湖北、广西	湖南	—	—	广东	—	江西	海南
中水稻	湖北、重庆、四川	安徽、福建	云南	—	江苏	—	湖南、陕西	河南、贵州
晚水稻	福建、江西、湖南	海南	—	浙江	—	安徽、广东、广西	湖北	—
粳稻	江苏、浙江、山东、湖北、云南	—	河北、宁夏	—	—	吉林	安徽	内蒙古、辽宁、黑龙江、河南
小麦	云南、新疆	内蒙古、江苏、四川	—	—	—	山西、山东、河南、陕西	黑龙江	河北、安徽、湖北、甘肃、宁夏
玉米	河南、云南、陕西、宁夏、新疆、贵州	内蒙古、黑龙江、甘肃	江苏、山东	—	—	辽宁、安徽、湖北、广西、四川	山西、重庆	河北、吉林

三 结论与讨论

横向比较而言,不同种类、不同地区粮食作物化肥施用强度与单产增长之间的关系差别较大。在三种粮食作物中,稻谷化肥施用强度与单产增长之间的脱钩状态趋于好转,在化肥零增长行动后玉米化肥施用强度与单产增长实现强脱钩但脱

钩状态不稳定,而小麦化肥施用强度与单产增长之间的脱钩状态最不理想。在不同稻谷品种中,中水稻化肥施用强度与单产增长之间的关系转向稳定的弱脱钩,而早水稻、晚水稻化肥施用强度与单产增长之间的强脱钩状态在未来还需进一步检验,粳稻化肥施用强度与单产增长之间的关系从

最不理想的强负脱钩到理想状态的强脱钩之间循环。2016~2018年,不管是稻谷还是小麦抑或是玉米,在化肥施用强度与单产增长之间的关系上都呈现出明显的地区差异。2016~2018年间,虽然从全国层面而言早籼稻、晚籼稻、玉米化肥施用强度与单产之间的关系表现为强脱钩状态,但具体到主产省份则有所差异,有些主产省份表现出强脱钩的理想状态,而有些主产省份却表现出负脱钩的不利状态,有些主产省份表现出弱脱钩、扩张性负脱钩等状态;虽然从全国层面而言小麦化肥施用强度与单产增长之间的关系表现为强负脱钩状态,但有些主产省份却表现出强脱钩状态。纵向比较而言,虽然国家在2005年开始推广测土配方施肥技术,但之后的2006~2010年各种粮食作物化肥施用强度与单产增长之间的关系并没有获得实质性转变,稻谷、小麦、玉米都表现为扩张性负脱钩状态。而在2015年国家出台《到2020年化肥使用量零增长行动方案》,提出明确的化肥零增长目标后,化肥施用强度增长趋势得到遏制,综合而言,三种粮食作物化肥施用强度与单产增长之间的关系趋于较为理想的状态。

虽然国家提出化肥使用量零增长具体目标后,稻谷、小麦、玉米化肥施用强度出现负增长或

增速明显放缓,但不同地区不同类型粮食作物化肥施用强度与单产增长之间的脱钩状态差异明显。因而,要最终实现粮食增产中去物质化、去污染化的强脱钩目标,需要关注不同粮食作物的生长特点、不同地区耕地资源禀赋特征、不同地区耕地资源利用程度、农户生产规模等,采取差异化的耕地保护政策与化肥管理制度。从国外的经验看,欧盟、北美、亚洲、中东部分发达国家的化肥用量都呈现先快速增长、达到峰值后保持稳中有降或持续下降的趋势,这些国家通过测土配方施肥等差异化的耕地保护与化肥管理措施逐步走上了减肥增效、高产高效的可持续发展之路。我国虽然早在2005年就推广测土配方施肥技术,但我国现在仍以农户小规模分散经营为主,由于不同农户化肥施用种类、施用强度不一致,同一村庄不同农户经营的耕地在土壤养分上存在较大异质性,这加大了测土配方施肥成本,阻碍了测土配方施肥技术在更大范围内的推广。测土配方施肥技术推广困难,给粮食作物化肥施用与单产增长实现强脱钩带来挑战。因而,需要进一步深入研究如何有效推广测土配方施肥技术以及如何引导农户合理施肥,从而在保障粮食有效供给的同时降低资源消耗及环境污染。

## On the Mutual Evolution and Regional Differences of China's Grain Crops Fertilizer Application and Yield Growth

GUO Zhen

(School of Business, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** The elastic decoupling index is used to study the dynamic relation and the regional differences between fertilizer application and yield growth in rice, wheat and corn. The study finds that firstly since 1996, among the three grain crops, there has seemed to be a trend of gradual decoupling between fertilizer application intensity and yield growth in rice, and the relation between fertilizer application intensity and yield growth in wheat has become strongly decoupled but unstable, while the decoupling state between fertilizer application intensity and yield growth in wheat is not ideal. Secondly, since 1996, among the different rice varieties, the relation between fertilizer application intensity and yield growth of mid-season indica rice has turned to stable weak decoupling, while the strong decoupling status between fertilizer application intensity and yield growth of early-season indica rice and late-season indica rice still needs further examination. The relation between fertilizer application intensity and yield growth of japonica rice has fluctuated greatly. Lastly, from 2016 to 2018, whether it is rice, wheat or corn, there is a clear regional difference in the decoupling state between fertilizer application intensity and yield growth. Some major producing provinces have shown strong decoupling, while some major provinces have shown strong negative decoupling.

**Key words:** grain crops; fertilizer application intensity; yield growth; decoupling state; regional differences

(责任校对 刘兰霞)