

中国县域粮食产量与农业劳动力变化的格局及其耦合关系

戈大专^{1,2,3}, 龙花楼^{1,3,4}, 张英男^{1,2,3}, 屠爽爽^{1,2,3}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 中国科学院精准扶贫评估研究中心, 北京 100101; 4. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

摘要: 本文构建了中国粮食产量与农业劳动力数量变化的耦合关系模式, 初步探讨了县域粮食产量与农业劳动力比重变化的耦合过程。利用全国1991年、2000年和2010年3期分县截面数据, 分别建立了粮劳弹性系数和农业劳动力转移效应系数用以分析中国县域粮食产量与农业劳动力变化的耦合关系。研究表明: ① 中国农业转型发展过程中, 县域粮食产量与农业劳动力数量变化的耦合关系呈现多样化并存的格局, 1991-2010年中国县域农业劳动力数量减少而粮食产量增加、农业劳动力数量增加而粮食产量也增加和农业劳动力数量减少的同时粮食产量也减少的县域数量占县域总数的比重分别为48.85%、29.11%和19.74%; 3种耦合类型分别集中于传统农区、西部欠发达牧区和农牧交错区、东南沿海农业快速转型区。② 中国县域粮食产量与农业劳动力比重的耦合曲线呈现阶梯式波动变化, 且二者耦合关系的离散趋势不断加强。③ 粮劳弹性系数和农业劳动力转移效应系数的变化表明农业劳动力变化在促进粮食增产中的作用在不断下降。④ “胡焕庸线”是中国粮食产量与农业劳动力变化耦合特征的重要分界线, 塑造了二者耦合格局的主体结构。

关键词: 粮食产量; 农业劳动力; 粮劳弹性系数; 农业劳动力转移效应系数; 胡焕庸线; 耦合关系

DOI: 10.11821/dlxb201706009

1 引言

农业劳动力是粮食生产不可或缺的重要资源^[1-3]。20世纪90年代以来, 中国粮食产量与农业劳动力变化剧烈, 粮食产量保持波动上升的趋势^[4], 从1991年4.35亿t增加到2010年的5.46亿t, 而同一时期农业劳动力数量则加速减少, 由3.5亿人下降到2.77亿人。同时, 农业劳动力非农就业的比例不断上升, 农户的非农收入比例不断提升^[5], 农业劳动力参与农业生产的方式和途径^[6-7]也发生了重大变化, 农业劳动力变化背景下中国粮食生产格局^[8]、粮食供给安全和农业劳动力与粮食生产的关系^[9]成为研究热点。

粮食产量与农业劳动力变化的动态关系研究不断深入, 但存在较大争议^[10-11]。众多研究发现农业劳动力转移对粮食产量的变化起到了不同作用^[12], 粮食产量变化与农业劳动力市场的供给情况密切相关, 并呈现出3种不同类型: ① 农业劳动力充足供给时, 农业劳动力转移不会削弱粮食生产能力, 甚至会改善农业生产环境, 增加粮食产量^[13-14];

收稿日期: 2016-09-29; 修订日期: 2017-02-03

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2014BAL01B05) [Foundation: The National Key Technology R&D Program of China, No.2014BAL01B05]

作者简介: 戈大专(1987-), 男, 江苏新沂人, 博士生, 研究方向为农业地理与乡村转型发展。E-mail: gedz.15b@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 龙花楼(1971-), 男, 湖南醴陵人, 博士, 研究员, 博士生导师, 中国地理学会会员(S110001545M), 主要研究方向为城乡发展与土地利用转型。E-mail: longhl@igsnrr.ac.cn

1063-1077 页

② 农业劳动力有限供给时, 农业劳动力机会成本上升, 农业劳动力转移将导致粮食产量减少^[15-16]; ③ 自由劳动力市场环境, 农业劳动力转移完成后, 粮食生产依靠其他农业生产要素的补充投入^[17]。中外学者对中国粮食产量与农业劳动力的关系进行了深入研究, 其中在粮食产量变化的影响因素^[8, 18]、农业劳动力转移特征^[6-7]、农业劳动力转移对粮食产量的影响^[19]、人口城镇化背景下中国粮食安全^[20]、劳动力转移背景下农业生产方式转型^[21]、农业劳动力结构演化与粮食生产的关系^[22]、农村人口空心化对粮食生产的影响^[23]等方面取得了重要进展。

综合分析国内外学者对粮食生产与农业劳动力变化的研究可以看出, 当前有关粮食产量与农业劳动力变化的单方面研究较多, 二者的时空耦合研究较少; 针对小范围的个案研究较多, 而针对中国不同地域类型的综合研究较少; 二者耦合的单一特性研究较多, 而针对中国不同地区差异化的耦合特征研究较少。因此, 本文拟在前人研究基础上, 结合农业劳动力变化特征, 构建中国粮食产量与农业劳动力变化差异化的耦合关系模式。基于全国县域 1991 年、2000 年和 2010 年 3 期截面数据, 深入分析全国范围内不同地域类型县域粮食产量与农业劳动力变化的格局及其耦合关系, 并对理论分析进行实证检验, 在理论研究与实证分析的基础上探讨中国粮食产量与农业劳动力变化的耦合关系模式, 用以指导粮食生产政策的调整。

2 理论分析与研究方法

2.1 粮食产量与农业劳动力数量的关系

2.1.1 粮食产量与农业劳动力数量变化耦合关系模式 粮食产量的变化受多种因素影响, 农业劳动力投入是粮食生产不可或缺的元素。古典二元经济理论下刘易斯模型^[12]和“拉一费”模型^[13], 构建了传统农业生产部门向现代生产部门的转化过程, 并揭示了农业劳动力转移的必要条件和转移效应。已有的研究表明粮食产量与农业劳动力数量变化的关系受到农业劳动力市场供给情况的影响^[15, 17]。因此, 本文利用县域农业劳动力数量的变化表征区域内农业劳动力供给情况, 进而构建区域粮食产量与农业劳动力数量变化的耦合关系模式。1978 年以来, 中国县域农业劳动力数量变化特征差异明显, 区域性增加与减少长期并存。基此, 本文构建了 3 种粮食产量与农业劳动力数量变化的耦合关系模式。

农业劳动力数量增加地区, 粮食产量与农业劳动力数量变化的耦合关系符合二元经济结构转型过程中农业劳动力数量增加与农产品产出的关系模式。图 1a 反映了农业劳动力数量增加地区粮食产量与农业劳动力数量变化的耦合, 基本符合二元经济结构转型的

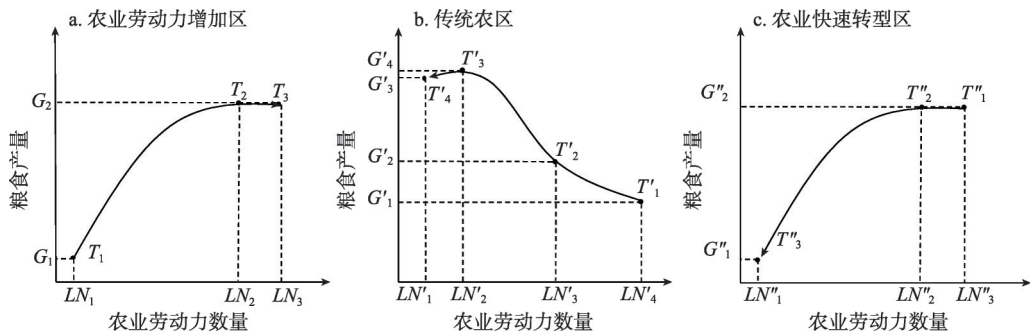


图 1 粮食产量与农业劳动力数量变化耦合关系概念模式

Fig. 1 Conceptual model of coupling relationship between grain yield and agricultural labor changes

逆向过程。 T_1-T_2 时期农业劳动力数量的增加,提高了人类改造自然的能力,通过劳动力投入扩大了农业生产规模,粮食产量顺势增加。但粮食生产的边际递减效应逐渐明显,当达到 T_2 点时农业劳动生产率达到最大,自然资源约束性逐渐凸显,继续增加劳动力投入已无法实现粮食增产, T_2 点在刘易斯二元经济结构转型中被定义为“食品不足点”。 T_2 点以后若农业劳动力数量持续增加,而粮食产量止步不前,社会危机将加重,迫切需要改革现有生产关系,粮食产量与农业劳动力数量变化的耦合关系进入转型期。

农业劳动力数量减少地区中的传统农区,粮食产量与农业劳动力数量变化的耦合关系阶段特征差异明显。本类地区(图1b)转型初期 T'_1 点时,农业劳动力剩余程度高,农业劳动生产率低,直接导致了粮食产量有限,人均粮食占有量较低,粮食产量与农业劳动力数量处于“拮抗”阶段,乡村地区存在整体性贫困; $T'_1-T'_2$ 时期,城市地区率先实现集聚发展,“刘易斯”城乡二元结构出现,在农业劳动力机会成本和比较收益的作用下,农业劳动力开始出现转移,并从事非农就业,非农收入比例上升,就业结构和生活质量得到改善。此外,这部分人带回先进技术和充足资金,农业劳动生产率得到提高,粮食产量缓步上升,乡村地区农业生产关系中的“人地关系”和“人粮关系”得到缓和^[25]; $T'_2-T'_3$ 时期,城镇化与工业化快速推进过程中,全社会劳动生产率得到快速提高,农业生产技术和管理体制不断创新,农业劳动力数量持续减少,农业劳动生产率不断提升,农业生产规模化和专业化不断推进^[26],但农业生产要素的边际递减效应不断凸显,粮食产量达到最高位 G'_3 。 $T'_3-T'_4$ 时期,大量农业劳动力外流,乡村“空心化”问题突出,农业生产的边际收益越来越低,城乡收入差距持续拉大,农地边际化伴随着土地利用“粗放化”^[27-28],直接导致耕地撂荒严重^[10],粮食产量不增反降。

农业劳动力数量减少地区中的农业快速转型区^[29],粮食产量与农业劳动力数量变化的耦合关系符合二元经济结构转型过程中劳动力转移与农产品产出变化的关系模式^[13]。农业快速转型区经济基础和区位条件较好,非农就业机会多且机会成本低,粮食的社会保障功能逐渐降低,率先实现农业转型发展。图1c描述了此类地区二者的耦合关系模式, $T''_1-T''_2$ 时期,农业劳动力数量下降并不会迅速带来粮食产量的下降^[14],其他农业生产要素的补充投入弥补了这部分劳动力流失对粮食产量带来的影响。 T''_2 点以后,区域经济转型过程中,农业生产比较效益低,农业生产活动逐渐被其他产业替代,粮食产量持续下降,区域性粮食自我保障能力不断降低。

农业劳动力数量增加地区、传统农区和农业快速转型区粮食产量与农业劳动力数量变化的耦合关系模式,因为区域的发展层次不同,所处的区位发展条件不同,同一时期在不同区域可能会同时出现。同时,也应该看到同一区域不同时期3种耦合模式因为区域发展的阶段不同可能会连续出现,即区域农业转型发展过程中农业劳动力数量先不断增加后不断减少,并最终实现农业劳动力转移。因此,本文构建的区域性粮食产量与农业劳动力数量变化的耦合关系模式,在同一个时间维度表征不同耦合类型区的差异,在不同时间维度表征区域耦合过程的演化。

2.1.2 粮劳弹性系数 粮劳弹性系数^[4, 30]可以定义为一定时期内粮食产量变化率与农业劳动力数量变化率的比值,计算公式如下:

$$GLEC_i = \frac{GYR_i}{ALNR_i} = \frac{(GY_{i2} - GY_{i1})/GY_{i1}}{(ALN_{i2} - ALN_{i1})/ALN_{i1}} \quad (1)$$

式中: i 表示县域; GYR_i 和 $ALNR_i$ 分别表示县域粮食产量变化率和农业劳动力数量变化率; GY_{i2} 和 GY_{i1} 分别表示 t_2 和 t_1 时期 i 县的粮食产量; ALN_{i2} 和 ALN_{i1} 分别表示 t_2 和 t_1

时期 i 县的农业劳动力数量; $GLEC$ 为粮劳弹性系数,表示 i 县在 t_1 至 t_2 时期的粮食产量变化与农业劳动力数量变化之间的耦合关系。

通过分析 $GLEC$ 系数的变化,揭示二者的耦合关系模式。若 $ALNR>0$,且 $GLEC<0$,则说明农业劳动力数量增加粮食产量在减少,农业劳动力数量增加对粮食增产起到“反向”作用;若 $ALNR>0$,且 $GLEC>0$,说明粮食产量与农业劳动力数量变化方向相同,农业劳动力数量增加对粮食增产起到“正向”作用。若 $ALNR<0$,且 $GLEC<0$,说明农业劳动力数量减少的同时粮食产量在增加,农业劳动力数量减少对粮食增产起到“正向”作用;若 $ALNR<0$,且 $GLEC>0$,则说明农业劳动数量减少对粮食增产起到“反向”作用。

2.2 粮食产量与农业劳动力比重的关系

2.2.1 粮食产量与农业劳动力比重变化耦合关系模式

县域农业劳动力数量直接反应了县域范围内从事农业生产的人员数量,而农业劳动力比重^①反应了农业劳动力数量占乡村从业人员的比例,从侧面反映出本地区农业劳动力的就业结构和转移趋势。图2描述了不同时期县域粮食产量与农业劳动力比重变化的耦合关系模式和粮劳耦合曲线^②,分别抽象描述了农业劳动力转移初期(T_1)、农业劳动力转移中期(T_2)、农业劳动力转移后期(T_3)和农业劳动力过度转移(T_4)4个阶段县域粮食产量与农业劳动力比重变化耦合的时序关系。

粮劳耦合特征整体上呈现出由集聚向离散到再次集聚的转化过程。农业转型发展初期,县域农业劳动力比重普遍偏高^[14],粮劳耦合曲线呈现“负偏态”,农业转型发展过程中,县域平均粮食产量不断提升,农业劳动力比重整体下降,粮劳耦合曲线不断向农业劳动力比重低值区推进,且粮劳耦合的离散趋势不断增加。 T_1-T_3 时期,农业劳动力转移对县域粮食增产起到了“正向”推动作用^[5],全国粮食总产量提升。 T_3 时期以后,农业剩余劳动力转移基本完成, T_3-T_4 时期过度的农业劳动力转移,导致粮食生产向优势度较高的地区集聚,粮食生产的集中化和专业化趋势不断增强^[26],农业快速转型区农业劳动力比重下降迅速,原来的粮食主产区将部分退出粮食生产。农业劳动力比重较高的欠发达地区由于粮食的社会保障功能将保留部分粮食生产能力^[28]。 T_3-T_4 时期,农业劳动力比重的下降对粮食增产起到“反向”抑制作用^[31],持续的农业劳动力转移将威胁粮食生产安全,粮食产量与农业劳动力比重变化的耦合关系进入新一轮调整期。

2.2.2 农业劳动力转移效应系数 农业劳动力转移效应既包含劳动力由农业生产部门转移到其他非农业生产部门带来粮食产量的变化,也包含农业劳动力跨区域转移对区域粮食产量的影响。本文构建了农业劳动力转移效应系数 $ALTEC$,用以刻画农业劳动力转移对于区域粮食产量带来的影响。 $ALTEC$ 测算公式如下:

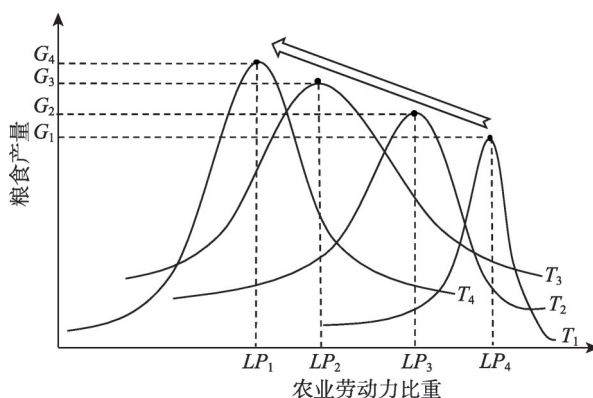


图2 县域粮食产量与农业劳动力比重变化耦合关系概念模式

Fig. 2 Conceptual model of coupling relationship between grain yield and agricultural labor proportion change at county level

① 县域农业劳动力比重=农业劳动力数量/乡村从业人员数量。

② 粮劳耦合曲线指一段时期内粮食产量与农业劳动力比重分别作为纵横坐标形成的耦合曲线。

$$ALTEC_i = \frac{GYR_i}{ALPR_i} = \frac{(GY_{i2} - GY_{i1})/GY_{i1}}{(\frac{ALN_{i2}}{REN_{i2}} - \frac{ALN_{i1}}{REN_{i1}})} \quad (2)$$

式中: i 表示县域; GYR_i 和 $ALPR_i$ 分别表示一定时期内县域粮食产量变化率和农业劳动力比重变化率; GY_{i2} 和 GY_{i1} 分别表示 t_2 和 t_1 时期 i 县的粮食产量; ALN_{i2} 和 ALN_{i1} 分别表示 t_2 和 t_1 时期 i 县的农业劳动力数量; REN_{i2} 和 REN_{i1} 分别表示 t_2 和 t_1 时期 i 县的乡村从业人员数量; $ALTEC$ 为农业劳动力转移效应系数, 表示 i 县在 t_1 至 t_2 时期的粮食产量与农业劳动力比重变化之间的耦合关系。

当 $ALTEC > 0$ 表明粮食产量与农业劳动力比重变化趋势相同, 若 $ALPR > 0$, 粮食产量在增加, 则说明农业劳动力比重增加对粮食增产起“正向”推动作用; 相反, 若 $ALPR < 0$, 则粮食产量在减少, 说明农业劳动力比重下降对粮食增产起到“反向”抑制作用。若 $ALTEC < 0$, 表明粮食产量与农业劳动力比重变化趋势相反, 若 $ALPR > 0$, 则粮食产量在减少, 说明农业劳动力比重增加对粮食增产起“反向”抑制作用; 相反, 若 $ALPR < 0$, 则粮食产量在增加, 说明农业劳动力比重下降对粮食增产起到“正向”推动作用。

2.3 数据来源及行政区划

本文研究过程中使用了分县统计数据, 分别包括农业劳动力数量、乡村从业人员数量和粮食总产量。共获取了1991年、2000年和2010年3期截面数据, 其中1991年数据由中国自然资源数据中心 (<http://www.data.ac.cn>) 提供, 2000年和2010年数据来源于《中国县(市)社会经济统计年鉴》。数据分析过程中利用相应地区省市统计年鉴数据, 及相邻年份数据修正异常值。剔除部分没有统计数据的县域后, 本文共获得2006个有效统计单元。本文中涉及的基础地理数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心。同时, 1991-2010年间中国行政区划不断调整, 本文行政区划沿革处置的原则是以2010年行政区划为准, 相应调整前两期行政区划。

3 结果分析

3.1 县域粮食产量与农业劳动力变化的时空格局

县域粮食产量变化的时空格局: 1991-2010年全国县域粮食总产量在波动增加, 但区域差异明显。1991-2000年, 全国71.09%的县域粮食产量在增加, 县域平均粮食产量增加13.73%, 带动全国县域粮食总产量增加13.71% (图3a)。2000-2010年全国有66.65%的县域粮食产量在增加, 县域平均粮食产量增加28.23%, 在此期间全国县域粮食总产量增加了28.19% (图3b)。1991-2010年, 全国74.33%的县域粮食产量在增加, 县域平均粮食产量增加45.84%, 全国县域粮食总产量增加了45.8% (图3c)。粮食增产区主要集中在中国北方地区, 尤其是华北地区和东北地区成为粮食增产主要贡献地区, 粮食生产重心不断“北移”^[32]。

县域农业劳动力数量变化的时空格局: 1991-2010年中国县域农业劳动力数量呈现加速减少的趋势, 东西部地区空间格局差异显著。1991-2000年全国53.09%的县域农业劳动力数量在减少 (图3d), 县域农业劳动力数量的均值^③减少0.71万人, 带动全国农业劳动力总数减少4.82%。2000-2010年全国68.84%的县域农业劳动力数量在减少, 县域农业

③ 均值计算过程中利用三倍标准差方法剔除异常值, 下同。

劳动力数量的均值减少2.2万人，带动全国农业劳动力总数减少15.59%。2000-2010年县域农业劳动力数量减少速度明显快于1991-2000年，农业劳动力数量减少的县域增加了316个（图3e）。1991-2010年全国65.15%的县域农业劳动力数量在减少，带动全国农业劳动力总数减少19.66%（图3f）。“胡焕庸线”以东地区县域农业劳动力数量大部处于减少趋势，黄淮地区、江淮地区、长江中下游地区和四川盆地成为减少的核心区。农业劳动力数量增加地区主要集中在此线以西的新疆大部 and 四省藏区。

县域农业劳动力比重变化的时空格局：1991-2010年全国县域农业劳动力比重普遍下降，因社会经济条件和自然环境差异，各地降幅差异明显。1991-2000年全国91.03%的县域农业劳动力比重在下降（图3g），降幅超过15个百分点的县域数量占全部县域数量的比重（下文简称县域比重）为24.77%，全国县域农业劳动力比重的均值下降9.8个百分点。2000-2010年全国93.92%的县域农业劳动力比重在下降，降幅超过15个百分点的县域比重为42.17%，带动全国县域农业劳动力比重的均值下降14.05个百分点。1991-2010年全国高达99.7%的县域农业劳动力比重在下降，仅有0.3%的县域农业劳动力比重

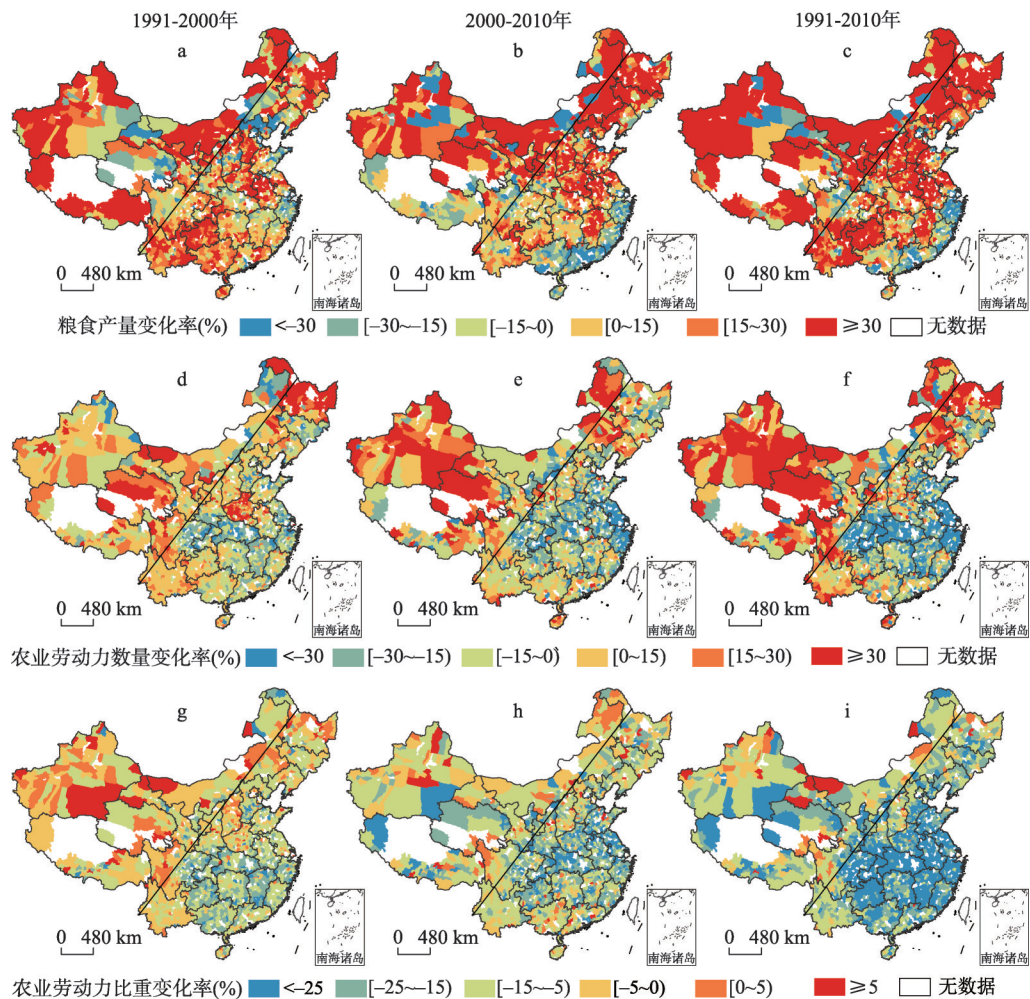


图3 1991-2010年中国县域粮食产量与农业劳动力数量和比重变化的时空格局
Fig. 3 Spatio-temporal pattern of grain yield, agricultural labor and agricultural labor proportion at county level in China during 1991-2010

在增加,降幅超过15个百分点的县域比重为70.24%,直接导致了全国县域农业劳动力比重的均值下降23.86个百分点,由84.09%下降到60.23%。“胡焕庸线”以东地区县域农业劳动力比重快速下降,此线以西地区也普遍下降,但降幅与东部地区相比较低。农业劳动力比重上升的县域零星分布在新疆和内蒙古等局部地区。

3.2 粮食产量与农业劳动力数量变化耦合特征

3.2.1 县域粮食产量与农业劳动力数量的耦合格局 中国县域粮食产量与农业劳动力数量空间耦合特征明显,县域农业劳动力数量较多的地区粮食产量也较高。以全国县域农业劳动力数量分级设色作为底图,以县域粮食产量作分级显示(图4)，“胡焕庸线”塑造了中国县域粮食产量与农业劳动力数量耦合关系的空间格局,此线以东地区县域农业劳动力数量较多,粮食产量也较高,尤其是大江大河的冲积平原地区,二者耦合程度更高。“胡焕庸线”以西地区县域农业劳动力数量普遍偏低,粮食产量也十分有限。二者的空间耦合特征与中国自然本底环境下“水、土、气、热、生”等自然要素和人口分布状况密不可分。

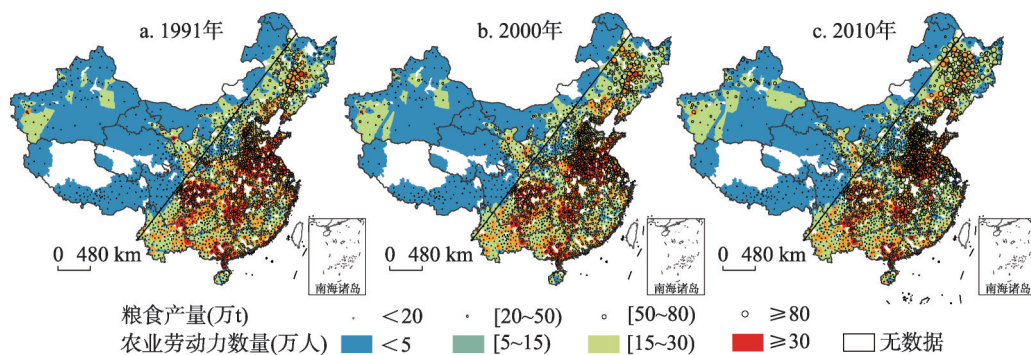


图4 1991-2010年中国县域粮食产量与农业劳动力数量耦合关系时空格局

Fig. 4 Spatio-temporal pattern of coupling relationship between grain yield and agricultural labor at county level in China during 1991-2010

3.2.2 县域粮食产量与农业劳动力数量变化的时空耦合特征 (1) 1991-2000年粮劳弹性系数空间特征:在此期间,全国共有1078个县域农业劳动力数量在减少,主要分布在“胡焕庸线”以东地区(图5a),其中粮食产量下降($ALNR < 0$ 且 $GLEC \geq 0$)的县有363个,主要分布在浙江大部 and 山东半岛东部;粮食产量增加($ALNR < 0$ 且 $GLEC < 0$)的县域数量为715个,主要分布在黄淮海平原和四川盆地等地区;在941个农业劳动力数量增加的县域中粮食产量增加($ALNR > 0$ 且 $GLEC \geq 0$)的县有712个(图5d),主要分布在新疆中西部、云贵高原和豫鲁皖交界地区和四川西部;粮食产量下降($ALNR > 0$ 且 $GLEC < 0$)的县共有228个,主要分布在青海北部和辽宁西部。期间,县域粮食产量和农业劳动力数量变化趋势相同,呈现“双增加”和“双减少”的县域比重分别为35.54%和18.09%;二者逆向变化的县域比重为46.36%,其中粮食产量增加而农业劳动力数量减少的县域比重为35.64%,粮食产量减少而农业劳动力数量增加的县域比重仅为10.72%。可以看出本期粮劳变化的耦合特征以同向变化为主,逆向变化为辅,但比重相差不大。

(2) 2000-2010年粮劳弹性系数空间特征:这一时期全国有1385个县域农业劳动力数量在减少,主要分布在中国东部地区(图5b),其中粮食产量下降($ALNR < 0$ 且 $GLEC \geq 0$)的县有482个,主要分布东南沿海省份和广西境内;粮食产量增加($ALNR < 0$ 且 $GLEC < 0$)的县有903个,占全部县域的比重为45%,主要分布在黄淮海

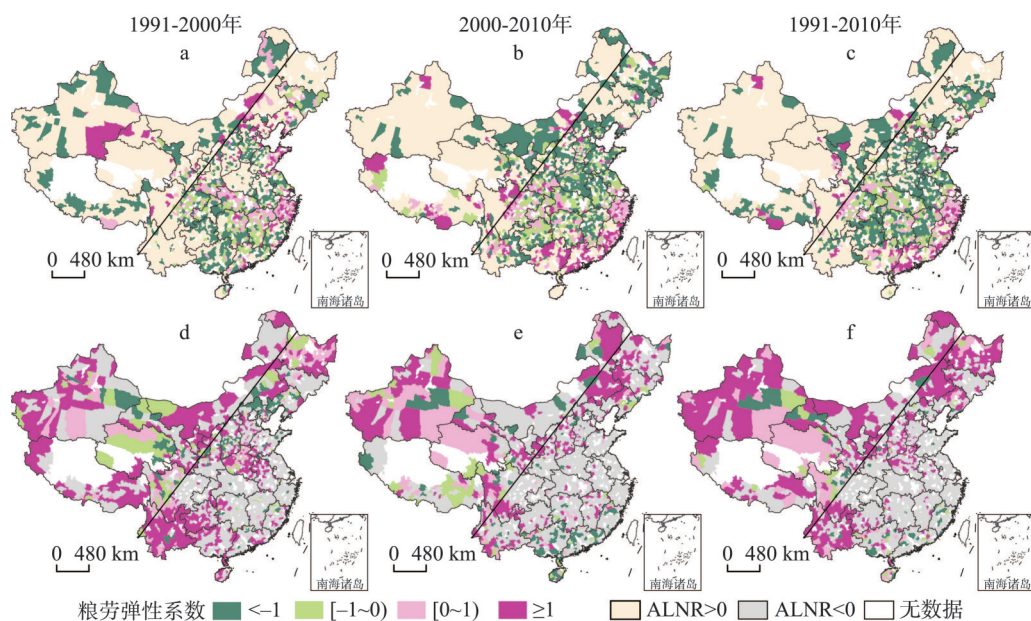


图5 1991-2010年中国县域粮劳弹性系数演变的时空格局

Fig. 5 Spatio-temporal pattern of grain-labor elasticity coefficient at county level in China during 1991-2010

平原、河套地区和东北平原。在621个农业劳动力数量增加的县域中(图5e),粮食产量上升($ALNR > 0$ 且 $GLEC \geq 0$)的县有432个,主要分布在新疆和内蒙古东部等地区;粮食产量下降($ALNR > 0$ 且 $GLEC < 0$)的县有189个,主要分布在西藏东部和海南境内。期间,县域粮食产量和农业劳动力数量变化趋势相同,呈现“双增加”和“双减少”的县域数量比1991-2000年同类县域分别减少119个和增加281个,两种类型的县域比重分别为21.54%和24.03%;二者逆向变化的县域比重为54.44%,其中粮食产量增加而农业劳动力数量减少的县域比重为45.01%,粮食产量减少而农业劳动力数量增加的比重仅为9.42%。

(3) 1991-2010年粮劳弹性系数空间特征:这一时期全国有1307个县域农业劳动力数量在减少(图5c),大部分在“胡焕庸线”以东地区,其中粮食产量下降($ALNR < 0$ 且 $GLEC \geq 0$)的县有396个,主要分布于东南沿海省份;粮食产量上升($ALNR < 0$ 且 $GLEC < 0$)的县有911个,主要分布在黄淮海平原和四川盆地等地区。在699个农业劳动力数量增加的县域中(图5f),粮食产量上升($ALNR > 0$ 且 $GLEC \geq 0$)的县有584个,主要分布在西北和内蒙古东部等地区;粮食产量下降($ALNR > 0$ 且 $GLEC < 0$)的县有115个,主要分布于四川西部和甘肃西部等地区。1991-2010年粮食产量和农业劳动力数量变化趋势相同的县域比重为48.85%,变化趋势不同的县域比重为51.15%。其中呈现“双增加”和“双减少”两类县域比重分别为29.11%和19.74%;粮食产量增加而农业劳动力数量减少的县域比重为45.41%,成为粮食产量与农业劳动力数量变化耦合关系的主要类型;粮食产量减少而农业劳动力数量上升这类县域的比重仅为5.73%。

3.2.3 县域粮食产量与农业劳动力数量变化耦合关系演化及分类 粮劳弹性系数的变化可以看出,中国农业劳动力数量的变化对粮食增产的作用在下降,且地域差异显著。1991-2010年中国县域农业劳动力数量增加地区 $GLEC$ 均值由3.81上升到3.99,说明农业劳动力数量增加对部分地区粮食增产的推动作用在欠发达地区仍然存在,但在2000-2010年,

此类县域数量下降了307个, 粮食产量占当年全国总产量的比重由2000年的41.22%, 下降到2010年的25.81%。而县域农业劳动力数量减少地区 *GLEC* 均值由-2.56上升到-1.76, 说明农业劳动力数量减少对这类地区粮食增产的作用在下降; 此外, 该类型县域粮食产量占当年粮食总产量的比重由2000年的58.78%, 上升到2010年的74.19%, 成为中国粮食产量与农业劳动力数量变化耦合关系的主要类型。农业劳动力数量总数减少的背景下, 全国 *GLEC* 均值由-0.25上升到-0.16, 说明农业劳动力数量的下降对粮食增产的正向推动作用不断下降。综合以上分析, 说明农业劳动力数量在粮食增产中的作用不断降低, 非劳动力因素在粮食生产中的作用不断加强^[8, 33-34]。同时, 二者耦合关系的空间格局呈现明显的地域差异, “胡焕庸线”是粮劳弹性系数宏观的地理界线, 此线以东地区二者的耦合关系以逆向为主(除东南沿海发达地区), 即农业劳动力数量下降的同时粮食产量在增加, 此线以西则以同向为主, 即粮食产量随着农业劳动力数量的增加而增加^[31]。

中国农业转型发展过程中, 不同类型的粮食产量和农业劳动力数量变化耦合关系在不同区域同时存在, 这一现象成为中国农业转型发展区别于其他国家的显著特征。农业劳动力数量增加地区, 粮食产量也增加的耦合模式主要分布在中国西部欠发达的牧区和农牧交错区; 农业劳动力数量减少, 同时粮食产量上升的耦合模式, 主要分布在中国东部传统农区, 这类地区粮食产量占全国粮食总产量的比重最高; 而农业劳动力数量减少, 同时粮食产量也下降的区域主要分布在中国东南沿海农业快速转型区, 这类地区农业转型发展迅速, 农业劳动力非农就业趋势明显, 粮食生产活动逐渐从这些地区退出。粮食产量与农业劳动力数量变化的耦合模式, 说明中国在农业转型发展过程中区域差异明显, 粮劳耦合关系区域差异显著, 有必要制定差异化的区域粮食生产保障政策。

3.3 粮食产量与农业劳动力比重变化的耦合特征

3.3.1 县域粮食产量与农业劳动力比重的耦合格局 利用县域农业劳动力比重作为底图, 县域粮食产量作分级显示, 从空间上直观地反映出全国范围内县域粮食产量与农业劳动力比重的空间耦合格局(图6)。

1991年全国各地农业劳动力比重普遍偏高, 均值为84.12%, 粮食高产县主要分布在长江中下游平原、黄淮海平原和四川盆地, 除长江三角洲和珠江三角洲部分地区外, 粮食高产区的农业劳动力比重也较高。2000年全国县域农业劳动力比重均值下降到74.28%, 二者耦合关系在“胡焕庸线”东西两侧呈现鲜明的差别, 此线以东地区县域农业劳动力比重下降, 粮食产量并未显著下降, 而此线以西地区农业劳动力比重仍维持较高水平, 粮食产量变化不显著。2010年, 长江中下游地区和东南沿海省份, 尤其是长江

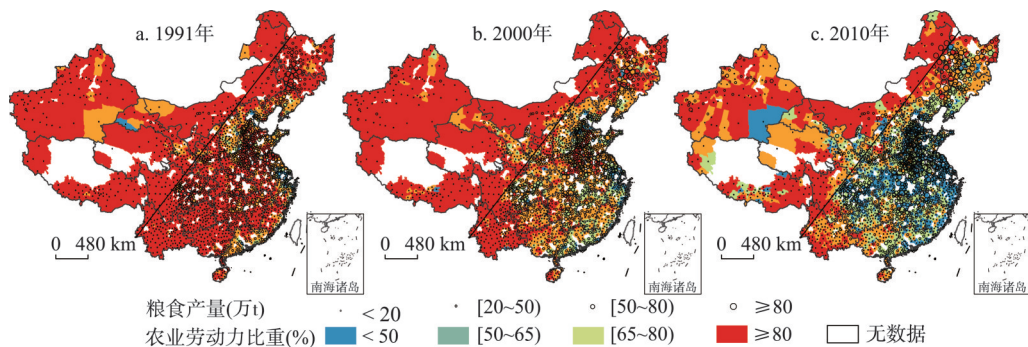


图6 1991-2010年中国县域粮食产量与农业劳动力比重耦合关系的时空格局

Fig. 6 Spatio-temporal pattern of coupling relationship between grain yield and agricultural labor proportion at county level in China during 1991-2010

三角洲和珠江三角洲地区农业劳动力比重下降迅速，这些地区的粮食产量也迅速下降，从图 6c 可以明显的看出这些地区已经不是中国粮食生产的核心区。

县域粮食产量与农业劳动力比重变化的耦合曲线呈现阶梯式波动变化。利用农业劳动力比重不同区间作为横坐标，分类汇总各区间县域比重和各区县粮食产量占县域粮食总产量的比重（简称粮食产量比重）。图 7 反映出各区县的县域比重（图 7a）和粮食产量比重（图 7b）的动态变化，二者的波峰处于同一区间，并随着农业转型发展不断向下游区间转移，且峰值不断下降，并趋于扁平化。1991 年农业劳动力比重较高的县粮食产量也较高，农业劳动力比重大于 80% 的县域比重为 71.79%，并生产了全国 65.95% 的粮食，波峰出现在农业劳动力比重 80%~90% 这个区间；2000 年农业劳动力比重在 60%~90% 区间的县域比重为 76.72%，这些县生产了全国 69.53% 的粮食，波峰出现在农业劳动力比重 70%~80% 这个区间；2010 年，农业劳动力比重处在 40%~60% 的县域，成为粮食产量较高的区间。3 个年份县域农业劳动力比重的均值不断下降且变异系数分别为 13.20%、18.36% 和 29.08%，而粮食产量的均值不断提升且标准偏差也不断提高，县域粮食产量与农业劳动力比重的耦合关系不断离散。

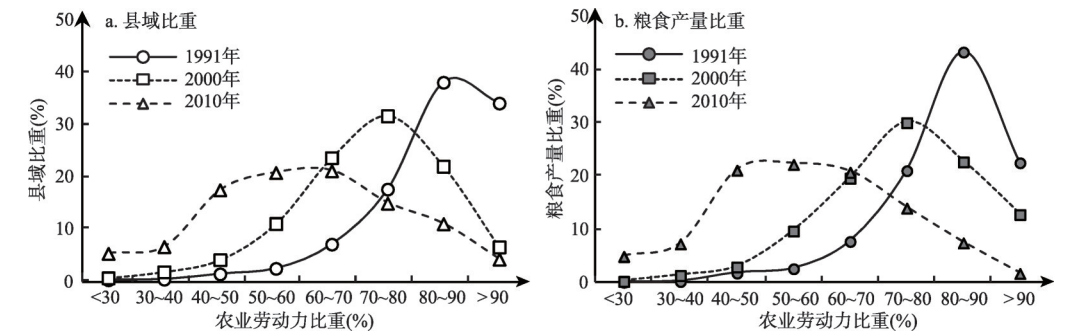


图 7 农业劳动力比重分类汇总状况下的县域比重与县域粮食产量分布情况
Fig. 7 Proportion of county number and grain yield under different agricultural labor proportions at county level

3.3.2 县域粮食产量与农业劳动力比重变化的时空耦合特征 全国县域农业劳动力比重普遍下降背景下，县域粮食产量与农业劳动力比重变化的耦合关系呈现鲜明的地域差异。表 1 统计了 3 个时期县域粮食产量与农业劳动力比重变化不同耦合类型的县域比重，从表 1 中可以发现，不同研究区间农业劳动力比重下降且粮食产量增加（ $ALPR < 0$ 且 $ALTEC < 0$ ）的县域比重在 62% 以上（图 8a~8c），成为二者耦合类型的主体，说明农业

表 1 1991-2010 中国县域农业劳动力转移效应系数分类统计汇总				
Tab. 1 Classification statistics of agricultural labor-transfer effect coefficient at county level during 1991-2010				
	ALTEC 值	1991-2000 年(%)	2000-2010 年(%)	1991-2010 年(%)
ALPR < 0	ALTEC ≥ 1	14.66(294)	18.05(362)	10.72(215)
	0 ≤ ALTEC < 1	11.32(227)	13.11(263)	14.66(294)
	-1 ≤ ALTEC < 0	15.55(312)	18.30(367)	20.14(404)
	ALTEC < -1	49.65(996)	44.57(894)	52.24(1048)
ALPR > 0	ALTEC ≥ 1	5.53(111)	3.49(70)	1.94(39)
	0 ≤ ALTEC < 1	0.35(7)	0.25(5)	0.25(6)
	-1 ≤ ALTEC < 0	0.40(8)	0.10(2)	0.00(0)
	ALTEC < -1	2.54(51)	2.14(43)	0.00(0)

注：括号内的数字为此种耦合类型县域的数量。

劳动力转移过程中,对于多数县域粮食生产起到了“正向”推动作用。此类县域主要分布在黄淮海平原、东北三省和内蒙古等地区;其次,农业劳动力比重下降的同时粮食产量也下降($ALPR < 0$ 且 $ALTEC \geq 0$)的县域比重约为25%,其主要分布在长江三角洲地区和珠江三角洲地区,并逐步在东南沿海地区形成连绵带。此类地区是中国社会经济发展的前沿地带,农业劳动力转移对粮食增产的“反向”效应明显^[27]。此外,全国仍有少部分县域农业劳动比重在上升(图8d~8f),县域粮食产量与农业劳动力比重变化的耦合特征较分散,并没有形成集聚区。

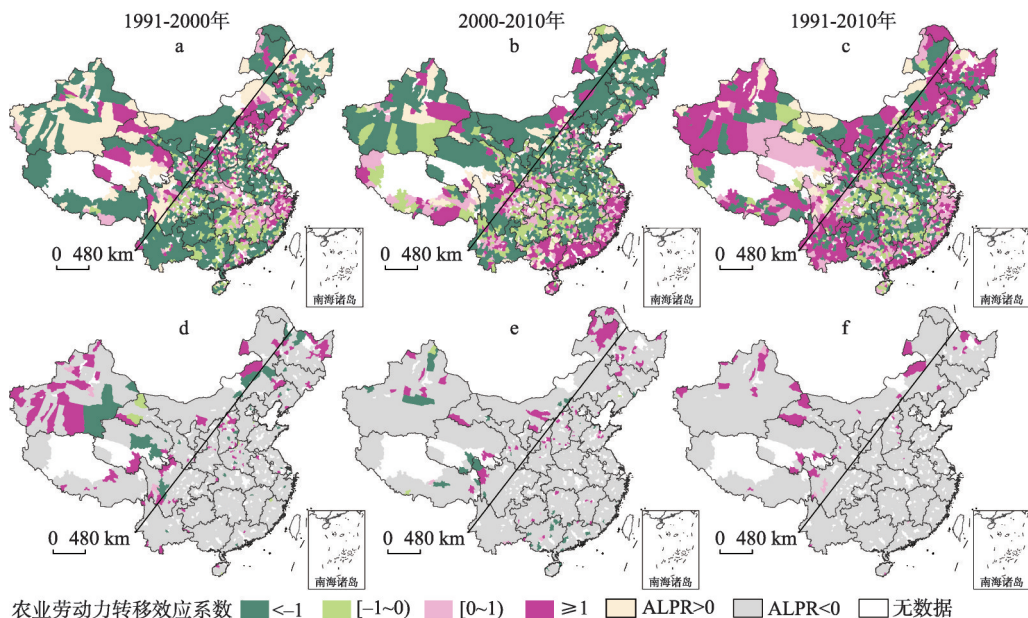


图8 1991-2010年中国县域农业劳动力转移效应系数演变的时空格局

Fig. 8 Spatio-temporal pattern of agricultural labor-transfer effect coefficient at county level in China during 1991-2010

1991-2010年粮食产量和农业劳动力比重变化的耦合关系以“正向”作用为主,但作用程度不断减弱,空间格局也存在较大差异。20世纪90年代以后,全国90%以上的县域农业劳动力比重在下降,县域农业劳动力转移效应系数的均值由1991-2000年间的-2.93上升到2000-2010年间的-1.78,即农业劳动力转移带动粮食增产作用在不断下降,同时在东南沿海地区集中出现了“非粮化”趋势,大江大河的三角洲地区,由原来的粮食主产区演变为现在的城镇连绵区,一定程度上削弱了全国的粮食生产能力。当前,全国农业劳动力转移效应系数仍为负值,即农业劳动力比重的下降,仍对粮食产量增加起到“正向”推动作用,但结合前文粮劳弹性系数的变化,若缺乏合理的政策措施引导,农业劳动力转移效应的正向作用可能被弱化,应该防止农业劳动力过渡转移对粮食安全造成的负面影响^[6]。

4 结论与讨论

4.1 结论

1991-2010年中国粮食产量处于波动上升趋势,总量增加了25.52%;而农业劳动力数量则处于波动下降趋势,总量减少了20.86%;农业劳动力比重处于加速下降趋势,在

此期间下降了23.86个百分点。“胡焕庸线”是刻画三者空间格局演化的重要分界线,此线以东地区一直是中国粮食生产的核心区,农业劳动力数量减少明显,农业劳动力比重下降较快,而此线以西地区粮食产量较少,农业劳动力数量先增加后减少,农业劳动力比重降速较慢。

1991-2010年中国县域农业劳动力数量减少而粮食产量增加、农业劳动力数量增加而粮食产量也增加和农业劳动力数量减少的同时粮食产量也减少的县域比重分别为48.85%、29.11%和19.74%。全国GLEC均值由-0.25上升到-0.16,县域农业劳动力数量增加地区GLEC均值由3.81上升到3.99,但此类县域粮食产量占当年全国县域粮食总产量的比重由2000年的41.22%下降到2010年的25.81%。而县域农业劳动力数量减少地区GLEC均值由-2.56上升到-1.76,此类县域粮食产量占当年全国县域粮食总产量的比重由2000年的58.78%上升到2010年的74.19%。

县域粮食产量与农业劳动力数量变化的耦合关系模式呈现多样化并存的格局。在理论分析与实证研究基础上,总结了我国牧区和农牧交错区、传统农区、农业快速转型区粮食产量与农业劳动力数量变化的耦合关系模式,3种耦合类型长期共存。“胡焕庸线”是中国粮食产量与农业劳动力数量变化耦合关系模式的重要分界线,此线以东的传统农区二者的耦合关系以逆向为主,即农业劳动力数量下降的同时粮食产量在增加;东南沿海农业快速转型区农业劳动力数量减少的同时粮食产量也在减少。此线以西的牧区和农牧交错区二者的耦合关系以同向为主,即粮食产量随着农业劳动力数量的增加也在增加。

中国县域粮食产量与农业劳动力比重变化的耦合曲线呈现阶梯式波动变化,且二者耦合关系离散趋势不断加强。1991-2010年中国粮食产量和农业劳动力比重变化的耦合关系以“正向”作用为主,即农业劳动力比重下降的同时粮食产量在上升,但作用程度不断消减,且空间格局存在较大差异。农业劳动力转移效应系数的均值由-2.93上升到-1.78,农业劳动力转移带动粮食增产作用在不断下降,同时在东南沿海地区出现了大量“非粮化”区域。

4.2 讨论

与其他国家相比,中国农业劳动力市场和土地所有制及其人地关系具有特殊性,国内各地区经济发展层次差异较大,粮食的社会保障功能也不尽相同,因此,粮食产量与农业劳动力数量变化的耦合关系在各区域差异显著。本文基于理论梳理与实证研究总结了3种粮食产量与农业劳动力数量变化的耦合关系模式及主要分布区。但同时也应该看到,中国地域辽阔,即使是同一种耦合类型区内也会出现不同耦合类型交错出现的现象。

当前,中国粮食安全与农业劳动力转移成为两个重要的命题。本文基于粮劳弹性系数和农业劳动力转移效应系数分别刻画粮食产量与农业劳动力数量变化及粮食产量与农业劳动力比重变化的耦合关系,分析发现农业劳动力转移过程中,农业劳动力转移的总体效应在下降。粮食生产组织模式、新型农业经营主体参与方式、土地资源管理制度^[35]等新的粮食生产影响因素,对中国粮食生产的影响作用不断加强。因此,市场经济条件下粮食产量变化的影响因素不断增加,各影响因素又相互作用,难以有效剥离出农业劳动力在其中的影响程度。因此,基于翔实的自然环境和社会经济数据,定量刻画各影响因素对粮食产量变化的作用程度是下一步研究的重点。

粮食产量与农业劳动力变化的耦合关系,既体现了区域农业转型发展的过程,也描述了乡村地域空间转型发展的路径与困境。当前,接近中国总人口一半的乡村人口仍然居住和生活在乡村地区,这部分人的生存和发展仍然与粮食生产密切相关。粮食的社会

保障功能决定了中国乡村转型发展过程中要协调好公平与效率、近期与远期、社会保障与生态保护等关系,建立可持续的乡村发展系统,保障粮食安全的同时促进乡村良性发展是未来农业和乡村发展政策的重要方向^[36]。

参考文献(References)

- [1] Qi Liangshu. Development Economics. Beijing: Higher Education Press, 2007. [齐良书. 发展经济学. 北京: 高等教育出版社, 2007.]
- [2] Long Hualou, Tu Shuangshuang, Ge Dazhuan, et al. The allocation and management of critical resources in rural China under restructuring: Problems and prospects. *Journal of Rural Studies*, 2016, 47: 392-412.
- [3] Wu Yuming. Calculation on the elasticity of agricultural input-output in China: Based on spatial econometrics models. *Chinese Rural Economy*, 2010(6): 25-37. [吴玉鸣. 中国区域农业生产要素的投入产出弹性测算: 基于空间计量经济模型的实证. *中国农村经济*, 2010(6): 25-37.]
- [4] Zou Jian, Long Hualou. The variation of farmland use and the security pattern of grain production in China since 1978. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(8): 1366-1375. [邹健, 龙花楼. 改革开放以来中国耕地利用与粮食生产安全格局变动研究. *自然资源学报*, 2009, 24(8): 1366-1375.]
- [5] Li L, Wang C, Segarra E, et al. Migration, remittances, and agricultural productivity in small farming systems in Northwest China. *China Agricultural Economic Review*, 2013, 5(1): 5-23.
- [6] Zhang X, Yang J, Wang S. China has reached the Lewis turning point. *China Economic Review*, 2011, 22(4): 542-554.
- [7] Song Jinping, Wang Enru. The mode and tendency of agriculture surplus labor force transformation in China. *Chinese Journal of Population Science*, 2001(6): 46-50. [宋金平, 王恩儒. 中国农业剩余劳动力转移的模式与发展趋势. *中国人口科学*, 2001(6): 46-50.]
- [8] Chen Yangfen, Li Xiande. Spatial-temporal characteristics and influencing factors of grain yield change in China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(20): 1-10. [陈秧分, 李先德. 中国粮食产量变化的时空格局与影响因素. *农业工程学报*, 2013, 29(20): 1-10.]
- [9] Wang X, Han L, Huang J, et al. Gender and off-farm employment: evidence from rural China. *China & World Economy*, 2016, 24(3): 18-36.
- [10] Chan K W. A China paradox: Migrant labor shortage amidst rural labor supply abundance. *Eurasian Geography and Economics*, 2010, 51(4): 513-530.
- [11] Taylor J E, López-Feldman A. Does migration make rural households more productive? Evidence from Mexico. *The Journal of Development Studies*, 2010, 46(1): 68-90.
- [12] Lewis A W. Dual Economy. Beijing: Beijing Economic College Press, 1989. [刘易斯. 二元经济论. 北京: 北京经济学院出版社, 1989.]
- [13] Ranis G, Fei J C H. A theory of economic development. *American Economic Review*, 1969, 51(4): 533-565.
- [14] Lin J Y. Rural reforms and agricultural growth in China. *The American Economic Review*, 1992, 82(1): 34-51.
- [15] Lipton M. Migration from rural areas of poor countries: the impact on rural productivity and income distribution. *World Development*, 1980, 8(1): 1-24.
- [16] Clay D, Reardon T, Kangasniemi J. Sustainable intensification in the highland tropics: Rwandan farmers' investments in land conservation and soil fertility. *Economic Development and Cultural Change*, 1998, 46(2): 351-377.
- [17] Oseni G, Winters P. Rural nonfarm activities and agricultural crop production in Nigeria. *Agricultural Economics*, 2009, 40(2): 189-201.
- [18] Gu Lemin. Relative analysis of China's grain yield and influence factors based on criterion of least absolute deviation. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(11): 1-10. [顾乐民. 基于最小一乘准则的中国粮食产量与影响因素的相关性分析. *农业工程学报*, 2013, 29(11): 1-10.]
- [19] Yan J, Yang Z, Li Z, et al. Drivers of cropland abandonment in mountainous areas: A household decision model on farming scale in Southwest China. *Land Use Policy*, 2016, 57: 459-469.
- [20] Christiansen F. Food security, urbanization and social stability in China. *Journal of Agrarian Change*, 2009, 9(4): 548-575.
- [21] Yan J, Zhang Y, Hua X, et al. An explanation of labor migration and grain output growth: Findings of a case study in eastern Tibetan Plateau. *Journal of Geographical Sciences*, 2016, 26(4): 484-500.

- [22] Lu Wencong, Mei Yan, Li Yuanlong. Regional change in China's grain production: Effects of labor-land ratio, off-farm employment opportunities and labor compensation. *Chinese Journal of Population Science*, 2008(3): 20-28. [陆文聪, 梅燕, 李元龙. 中国粮食生产的区域变化: 人地关系、非农就业与劳动报酬的影响效应. *中国人口科学*, 2008(3): 20-28.]
- [23] Long Hualou, Li Yurui, Liu Yansui. Analysis of evolutive characteristics and their driving mechanism of hollowing villages in China. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(10): 1203-1213. [龙花楼, 李裕瑞, 刘彦随. 中国空心化村庄演化特征及其动力机制. *地理学报*, 2009, 64(10): 1203-1213.]
- [24] De Janvry A, Sadoulet E, Zhu N. The role of non-farm incomes in reducing rural poverty and inequality in China. CUDARE Working Paper 1001. Berkeley: University of California, 2005.
- [25] Rozelle S, Taylor J E, DeBrau A. Migration, remittances, and agricultural productivity in China. *The American Economic Review*, 1999, 89(2): 287-291.
- [26] Wang X, Huang J, Rozelle S. Off-farm employment and agricultural specialization in China. *China Economic Review*, 2017, 42: 155-165.
- [27] Chen Y, Li X, Tian Y, et al. Structural change of agricultural land use intensity and its regional disparity in China. *Journal of Geographical Sciences*, 2009, 19(5): 545-556.
- [28] Tian Yujun, Li Xiubin, Chen Yuqi, et al. A review on research advances in farm labor migration and its impacts on farm land use. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(4): 686-695. [田玉军, 李秀彬, 陈瑜琦, 等. 城乡劳动力流动及其对农地利用影响研究评述. *自然资源学报*, 2010, 25(4): 686-695.]
- [29] Zheng Haixia, Tong Ju'er, Xu Yang. Spatio-temporal changes of farmland resources and their driving forces in developed areas. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(4): 75-78. [郑海霞, 童菊儿, 徐扬. 发达地区耕地资源的时空变化及其驱动力实证研究. *农业工程学报*, 2007, 23(4): 75-78.]
- [30] Liu Yansui, Li Yurui. Spatio-temporal coupling relationship between farmland and agricultural labor changes at county level in China. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(12): 1602-1612. [刘彦随, 李裕瑞. 中国县域耕地与农业劳动力变化的时空耦合关系. *地理学报*, 2010, 65(12): 1602-1612.]
- [31] Heerink N, Qu F, Kuiper M, et al. Policy reforms, rice production and sustainable land use in China: A macro-micro analysis. *Agricultural Systems*, 2007, 94(3): 784-800.
- [32] Wang Jieyong, Liu Yansui. The changes of grain output center of gravity and its driving forces in China since 1990. *Resources Science*, 2009, 31(7): 1188-1194. [王介勇, 刘彦随. 1990年至2005年中国粮食产量重心演进格局及其驱动机制. *资源科学*, 2009, 31(7): 1188-1194.]
- [33] Gao L, Huang J, Rozelle S. Rental markets for cultivated land and agricultural investments in China. *Agricultural Economics*, 2012, 43(4): 391-403.
- [34] Shao Jing'an, Zhang Shichao, Li Xiubin. Farmland marginalization in the mountainous area: Characteristics, influence factors and policy implications. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(2): 227-242. [邵景安, 张仕超, 李秀彬. 山区耕地边缘化特征及其动因与政策含义. *地理学报*, 2014, 69(2): 227-242.]
- [35] Long Hualou. Land use transition and land management. *Geographical Research*, 2015, 34(9): 1607-1618. [龙花楼. 论土地利用转型与土地资源管理. *地理研究*, 2015, 34(9): 1607-1618.]
- [36] Long Hualou, Tu Shuangshuang. Rural restructuring: Theory, approach and research prospect. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(4): 563-576. [龙花楼, 屠爽爽. 论乡村重构. *地理学报*, 2017, 72(4): 563-576.]

Pattern and coupling relationship between grain yield and agricultural labor changes at county level in China

GE Dazhuan^{1,2,3}, LONG Hualou^{1,3,4}, ZHANG Yingnan^{1,2,3}, TU Shuangshuang^{1,2,3}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Center for Assessment and Research

on Targeted Poverty Alleviation, CAS, Beijing 100101, China; 4. College of Resources and Environment,

University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: This paper establishes a model of coupling relationship between grain yield and agricultural labor changes, and preliminarily discusses the coupling process of the changes of grain yield and agricultural labor proportion at county level. Using county-level statistical data of farmland and agricultural labor in 1991, 2000 and 2010, two coefficients were developed to analyze the coupling relationship between grain yield and agricultural labor changes, one is grain-labor elasticity coefficient (GLEC), and the other is agricultural labor-transfer effect coefficient (ALTEC). Results showed that: (1) During the process of agricultural development transformation in China, different types of coupling relationship modes between grain yield and agricultural labor changes coexist at the same time. During 1991-2010, the number of counties with three different coupling modes, i.e., grain yield increasing and agricultural labor decreasing, both increasing of grain yield and agricultural labor and both decreasing of grain yield and agricultural labor, account for 48.85%, 29.11% and 19.74% of the total counties in the study area, respectively. Interestingly, the coupling mode of grain yield increasing and agricultural labor decreasing is mainly found in the traditional farming area of China. The coupling mode of both increasing of grain yield and agricultural labor is located in the pastoral areas and agro-pastoral ecotone in the underdeveloped western China, while the coupling mode of both decreasing of grain yield and agricultural labor is distributed in the areas experiencing rapid agricultural development transition, especially in the developed southeastern coastal China. (2) From 1991 to 2010, the number of counties which experienced a decline of agricultural labor proportion was 1961, among which 1452 counties with an increasing of grain yield, accounting for 72.38% of the total number of counties. The coupling curve between grain yield and agricultural labor proportion changes showed a stepped fluctuation, and the discrete trend of the coupling relationship was continually strengthened. (3) The mean of GLEC and ALTEC increased from -0.25 and -2.93 during 1991-2000 to -0.16 and -1.78 during 2000-2010, respectively. The changes of GLEC and ALTEC illustrated that the influence of agricultural labor changes on increasing grain yield is diminishing gradually. (4) "Hu Huanyong Line" is a significant boundary presenting the coupling relationship between grain yield and agricultural labor changes.

Keywords: grain yield; agricultural labor; grain-labor elasticity coefficient; agricultural labor-transfer effect coefficient; Hu Huanyong Line; coupling relationship