

# 基于能值理论的中国耕地利用集约度时空变化分析

姚成胜<sup>1</sup>, 黄琳<sup>2</sup>, 吕晞<sup>1</sup>, 段敏<sup>1</sup>

(1. 南昌大学经济与管理学院, 南昌 330031; 2. 江西师范大学外国语学院, 南昌 330022)

**摘要:** 为揭示 1990—2011 年中国耕地利用集约度的时空变化特征, 采用能值理论的研究方法, 将耕地利用集约度分解为生产要素集约度和复种指数 2 个指标的乘积, 剖析了中国农业机械、化肥、农药、农膜、劳动力等五大生产要素集约度和复种指数的时空变化规律。结果表明: 1990—2011 年, 包括农业机械、化肥、农药和农膜 4 种生产要素的工业辅助能集约度呈线性增长趋势, 而劳动集约度则呈现显著的线性下降趋势, 1996 年工业辅助能集约度在生产要素集约度中所占比例首次超过 50%, 表明 20 世纪 90 年代中期中国开始进入现代农业发展阶段; 期间复种指数增长率为 0.1794, 其对于耕地利用集约度的提高起到了关键性作用; 1996 年劳动集约度高的主要是处于传统农业生产阶段中的西部农业省份, 而工业辅助能集约度高的大都是初步或基本进入现代农业发展阶段的经济水平高或工业基础好的省份; 1996—2008 年, 沿海经济发达区、西部地区和部分粮食主产区劳动集约度下降幅度较大而工业辅助能集约度上升幅度大; 1996—2008 年, 复种指数下降是导致南方水稻主产区耕地利用集约度下降的主要原因, 而绝大多数北方地区耕地利用集约度增长也主要是由于复种指数的增长。

**关键词:** 土地利用; 化肥; 农药; 耕地; 集约利用; 能值; 时空变化

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.08.001

中图分类号: F301.21

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2014)-08-0001-12

姚成胜, 黄琳, 吕晞, 等. 基于能值理论的中国耕地利用集约度时空变化分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(8): 1—12.

Yao Chengsheng, Huang Lin, Lü Xi, et al. Temporal and spatial change of cultivated land use intensity in China based on emergy theory[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(8): 1—12. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

随着中国工业化和城市化的发展, 经济建设对土地的需求日益膨胀, 通过农地非农化来满足经济发展对建设用地的需求, 是经济发展的必然趋势<sup>[1]</sup>。然而, 人多地少是中国的基本国情, 中国人均耕地面积只有 0.093 hm<sup>2</sup>, 仅为世界平均水平的 37%<sup>[2]</sup>; 另一方面, 随着人口增长和人们消费结构的改变, 粮食需求将呈现出刚性增长趋势, 因此耕地资源短缺和粮食安全问题之间的矛盾始终存在。鉴于中国的耕地后备资源十分有限, 开源的前景不容乐观, 因此, 如何集约高效利用土地资源, 以妥善解决经济发展和粮食安全问题, 已成为研究者关注的热点<sup>[3]</sup>。从已有研究文献来看, 耕地和农地集约利用的测度方法很多, 主要有复种指数、资本和劳动成本、实物形态的各种生产资料投入量、粮食产量和农业产值<sup>[4]</sup>。

然而, 土地集约或粗放利用的本质是资本、劳动力、技术等经济要素与土地面积间的替代, 因此投入测度应该是土地利用集约度的基本测度<sup>[4-5]</sup>。土地投入包括劳动力、农业机械、化肥、农药、农膜、种子等众多要素, 各要素计量单位相差很大, 无法进行时空比较和综合分析<sup>[5]</sup>。为此, 研究者以价值为尺度, 有效解决了各种投入的量纲问题, 然而其最大的缺点就是生产资料和劳动力的价格时空差异很大, 有时候会与劳动和物质投入的真正数量出现较大的偏差<sup>[4,6-7]</sup>。在各种投入物质难以比较的情况下, 复种指数是反映土地集约利用的重要指标<sup>[4]</sup>, 它是指某一区域一定时间内 (通常为 1 年) 耕地上农作物种植的次数, 通常用农作物播种面积与耕地面积的比值来表示; 一般来讲, 复种指数越高, 耕地生产率也越高<sup>[6]</sup>。因此, 从投入角度来看, 要全面分析耕地集约利用变化, 必须解决 2 个问题: 第一, 采取有效的方法统一耕地投入的量纲, 以便进行时空比较; 第二, 将耕地投入和复种指数进行综合考虑, 构建包含生产要素投入和复种指数的耕地利用综合指标。

能值理论是著名系统生态学家 Odum 于 20 世纪 80 年代末创立。所谓能值 (Emergy) 是指某

收稿日期: 2013-12-08 修订日期: 2014-03-15

基金项目: 国家社会科学基金项目 (12CJL064); 教育部人文社科一般项目 (09YJC790136); 南昌大学经济与管理学院重点学科招标重点课题

作者简介: 姚成胜 (1977—), 男, 江西上饶人, 副教授, 博士, 主要从事农业资源与环境评价。南昌 南昌大学经济与管理学院, 330031。  
Email: yaochengsheng@163.com

种流动或贮存的能量所包含另一类别能量的数量,即产品或劳务形成过程中直接或间接投入应用的一种能量的总和;能值不等于实际的能量,而是一定类别和一定数量的能量在一定时间和空间的聚集。由于各种资源、产品或劳务的能量均直接或间接的起源于太阳能,故多以太阳能值(solar emergy)来衡量某一能量的能值大小,其单位为太阳能焦耳(solar emjoules,即 sej),它不存在时空差异问题<sup>[8-9]</sup>。与价值形态相比,能值能更好地解决耕地各种投入的量纲统一问题<sup>[5]</sup>。近年来,能值理论已广泛应用于耕地生态系统<sup>[10-11]</sup>和农地利用集约度<sup>[5,12]</sup>的研究当中,但运用能值理论的研究方法来分析中国耕地集约利用时空变化的研究尚未见报道。因此,本研究采用此方法,通过分解耕地集约利用指数,构建包括耕地物质投入和复种指数的综合指标,并对 1990—2011 年中国耕地集约利用的时空变化进行分析。

## 1 数据来源和研究方法

### 1.1 数据来源

本研究有关农业机械、化肥、农药、农膜等相关生产要素投入以及农作物播种面积等数据来源于中国农村统计年鉴(1991—2012 年),劳动力投入数据主要来源于国家发展和改革委员会主编的全国农产品成本收益资料汇编(1995—2012 年)。耕地数据主要来源于中国统计年鉴(1991—2000 年)和中国国土资源统计年鉴(2000—2012 年)。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 耕地利用集约度的计算与分解

耕地利用集约度是指单位时间单位面积上投入的各种物质资本和劳动力的数量,即所投入的数量越多,则耕地利用集约度就越高,反之则越低;其实质就是经营者用资本、劳动力及技术来替代土地面积以提高产出的过程<sup>[4]</sup>。伊利认为:“对现在已利用的土地增加劳力和资本,这个方法叫做土地利用的集约”<sup>[13]</sup>。参照张琳等的研究<sup>[14]</sup>,根据能值理论,可以将“耕地利用集约度”界定为“一定时间内投入到单位面积耕地上的物质和劳动力的能值总量”,即:

$$I = (C + L) / S \quad (1)$$

式中:  $I$  为耕地利用集约度, sej/hm<sup>2</sup>;  $C$  为投入到耕地中的物质资本的能值, sej;  $L$  为投入到耕地中的劳动能值, sej;  $S$  为耕地面积, hm<sup>2</sup>。

式(1)只从生产要素投入的角度揭示了耕地集约利用的变化,未有将复种指数涵盖在内。对式(1)进行变换,构建一个涵盖生产要素投入和复

种指数的耕地集约利用指标,其表达式为:

$$I = \frac{C + L}{S} = \frac{C + L}{A} \times \frac{A}{S} = P \times M \quad (2)$$

式中:  $A$  为农作物播种面积, hm<sup>2</sup>;  $P$  为单位农作物播种面积上的生产要素投入量,可称为生产要素集约度, sej;  $M$  为复种指数(multiple cropping index)。

由式(2)可知,耕地利用集约度的变化实际上受 2 个因素的影响,即生产要素集约度和复种指数。提高复种指数是提高耕地利用集约度的重要手段,如果复种指数不变,单靠提高生产要素的投入,则有可能出现土地的过度集约,进而产生各种负面生态环境效应或者产出效益低下。例如,当化肥、农药、农膜等要素投入过多时,将导致土壤养分失衡、土壤酸化、土壤污染物积累等一系列土地退化问题;而劳动过多的投入,则可能出现劳动边际效率为负,进而导致产出负增长的情况<sup>[15-16]</sup>。根据计量经济学的推算原理<sup>[17]</sup>,将式(2)两边取自然对数:

$$\ln I = \ln P + \ln M \quad (3)$$

对式(3)两边求导并以差分方程形式表示:

$$\Delta I / I = \Delta P / P + \Delta M / M \quad (4)$$

式中:  $\Delta I$ 、 $\Delta P$  和  $\Delta M$  分别为一定时期内,耕地利用集约度的增量, sej/hm<sup>2</sup>; 耕地生产要素集约度增量, sej/hm<sup>2</sup>; 复种指数增量(无量纲)。

令  $\hat{I} = \Delta I / I$ ,  $\hat{P} = \Delta P / P$ ,  $\hat{M} = \Delta M / M$ , 则可以得到:

$$\hat{I} = \hat{P} + \hat{M} \quad (5)$$

式中:  $\hat{I}$ 、 $\hat{P}$  和  $\hat{M}$  分别为一定时期内,耕地利用集约度、耕地生产要素集约度和复种指数的增长率。式(5)表明,一定时期内耕地利用集约度的增长率是耕地要素投入集约度增长率和复种指数增长率之和。

#### 1.2.2 耕地投入生产要素的能值计算

本研究考虑耕地生产要素的投入主要包括:农业机械、化肥、农药、农膜以及劳动力等五大类,需要指出除五大类物质投入外,耕地的投入还包括种子、畜力、除草剂等,但相关研究表明,上述五大类生产要素的投入占耕地投入的绝大比例,基本代表了耕地投入的整体发展趋势<sup>[5,7,18]</sup>。五大类生产要素能值的计算如下:

##### 1) 农业机械能值:

$$Q_E = T_q \cdot C_q \cdot N_q \cdot Z \quad (6)$$

式中:  $Q_E$  为投入的农业机械总能值, sej;  $T_q$  为农业机械能值转化率,  $7.50 \times 10^3$  sej/J<sup>[8]</sup>;  $C_q$  为农业机械动力的能量折算系数,  $2.10 \times 10^8$  J/kg<sup>[8]</sup>;  $N_q$  为投入的

农业机械总动力, kW;  $Z$  为各种农用机械的千瓦数折成千克数后, 再乘以折旧系数 0.1 的值, 计算公式为:

$$Z = 0.1 \times \left[ \frac{Q_a}{Q_a + Q_b + Q_c} \times Q_1 + \frac{Q_b}{Q_a + Q_b + Q_c} \times Q_2 + \frac{Q_c}{Q_a + Q_b + Q_c} \times Q_3 \right] \quad (7)$$

式中:  $Q_a$ 、 $Q_b$  和  $Q_c$  分别为汽油发动机动力、电动机动力和柴油发动机动力, kW;  $Q_1$ 、 $Q_2$  和  $Q_3$  分别为动力机械、排灌机械和大型农具的质能折算系数, 其值分别为 104.72、4.96 和 393.04 kg/kW<sup>[5]</sup>。

2) 化肥能值:

$$F_E = R_N \cdot T_N + R_P \cdot T_P + R_K \cdot T_K + R_F \cdot T_F \quad (8)$$

式中:  $F_E$  为使用化肥的总能值, sej;  $R_N$ 、 $R_P$ 、 $R_K$  和  $R_F$  分别为氮肥、磷肥、钾肥和复合肥的使用总量, t;  $T_N$ 、 $T_P$ 、 $T_K$  和  $T_F$  分别为氮肥、磷肥、钾肥和复合肥的能值转化率, 其值为  $3.80 \times 10^{15}$ 、 $3.90 \times 10^{15}$ 、 $1.10 \times 10^{15}$  和  $2.80 \times 10^{15}$  sej/t<sup>[19]</sup>。

3) 农药能值:

$$D_E = T_D \cdot N_D \quad (9)$$

式中:  $D_E$  为投入的农药总能值, sej;  $T_D$  为农药的能值转化率,  $1.62 \times 10^{15}$  sej/t<sup>[19]</sup>;  $N_D$  为农药的使用总量, t。

4) 农膜能值:

$$B_E = T_B \cdot N_B \quad (10)$$

式中:  $B_E$  为投入的农膜总能值, sej;  $T_B$  为农膜的能值转化率,  $3.80 \times 10^{14}$  sej/t<sup>[19]</sup>;  $N_B$  为农膜的使用总量, t。

5) 劳动力能值:

$$L_E = T_l \cdot C_l \cdot N_l \quad (11)$$

式中:  $L_E$  为投入的劳动力总能值, sej;  $T_l$  为劳动力的能值转化率,  $3.80 \times 10^5$  sej/J<sup>[8]</sup>;  $C_l$  为劳动力的能量折算系数,  $1.26 \times 10^7$  J/人<sup>[8]</sup>;  $N_l$  为投入的劳动力总量, 人。

将五大类生产要素的投入总量分别除以农作物播种面积  $A$ , 则可以得到五大类生产要素的集约度, 分别记作农业机械集约度、化肥集约度、农药集约度、农膜集约度和劳动集约度, 其中, 农业机械、化肥、农药和农膜为工业辅助能, 其生产中所投入比例大小, 是现代农业生产的重要标志<sup>[9]</sup>, 本文把这四者之和称为工业辅助能集约度  $G$ , 五大类生产要素集约度之和称为生产要素集约度  $P$ 。

### 1.2.3 农业现代化发展进程指数

工业辅助能集约度  $G$  大于劳动集约度  $L$  是现代

农业的一个重要标志<sup>[20]</sup>, 本文从生产要素投入角度, 构建表征农业现代化发展进程指数  $V$ , 其表达式为:

$$V = G/L \quad (12)$$

当  $V > 1$  时, 表明工业辅助能集约度  $G$  超过了劳动集约度  $L$ , 此时已迈入现代农业发展阶段; 当  $V = 1$  时,  $G = L$ , 此时处于传统农业向现代农业转变阶段; 当  $V < 1$  时,  $G < L$ , 此时仍处于传统农业生产模式。

## 2 结果与分析

### 2.1 生产要素集约度的时序变化分析

#### 2.1.1 农业机械集约度

1990—2011 年, 中国农业机械集约度呈现出显著的线性增长特征, 其变化的方程为  $y_1 = 1.1313x + 4.2506$  (其中  $x$  为年份, 1990—2011 年;  $R^2 = 0.9807$ )。2011 年农业机械集约度为 1990 年的 3.82 倍, 年均增长速度达 6.59%; 22 a 间, 农业机械集约度占生产要素集约度的比例由 4.40% 上升到 16.73%。1990 年以来, 中国农业机械集约度不断提高的主要原因在于以下 3 个方面: 第一, 从宏观层面看, 随着工业化和城市化的发展, 非农部门对劳动力的需求不断增加, 农民工工资不断上涨, 与此同时政府对农民工流动政策也不断改变, 导致农业劳动力务农机会成本上升, 因而其流动规模进一步扩大, 自 1990 年以来中国正经历着农业劳动力的快速转移过程<sup>[21]</sup>; 因此, 为有效保障农作物播种面积和粮食产量, 最为可行的方法就是以农业机械替代劳动力, 推进农业机械化。第二, 从农户微观层面看, 外出务工的一般是青壮年劳动力, 而从事农业生产的大都是老人和妇女<sup>[22]</sup>, 农业的高强度体力劳动特征促使他们必须使用各种农业机械, 才能有效进行农业生产。第三, 从政策层面来看, 中国政府对农业机械化建设始终高度重视, 自 1996 年以来, 先后实施了农业机械化发展“九五”、“十五”、“十一五”和“十二五”4 个发展规划, 2004 年中央一号文件明确指出“对农民个人、农场职工、农机专业户和直接从事农业生产的农机服务组织购置和更新大型农机具给予一定补贴”, 之后购置农机具补贴一直作为一项重要的惠农政策得到了全面的贯彻实施, 并且补贴力度不断加大。根据《全国农业机械化发展第十二五年规划》, “十一五”期间, 中央财政累计安排农机购置补贴资金 351 亿元, 补贴购置农机具 1078 万台套, 使全国农作物耕、种、收综合机械化水平达到 52.3%, 实现了从人畜力作业为主向机械作业为主的历史性跨越。

### 2.1.2 化肥、农药和农膜集约度

1990—2011 年, 中国的化肥、农药和农膜集约度都呈现出快速的增长特征(表 1), 22 a 来三者分别增长了 0.82 倍、1.23 倍和 3.50 倍, 年均增长速度分别为 2.89%、3.88%和 7.42%。化肥集约度占生产要素集约度的比例由 1990 年的 34.20%, 上升到 2011 年的 61.86%, 提高了 27.66 个百分点; 1998 年化肥集约度达  $88.82 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ , 首次超过劳动集约度 ( $82.23 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ ), 成为耕地中的最大物质投入品种, 其对提高粮食产量的作用约占 50%<sup>[15]</sup>; 2001 年化肥集约度达到了  $91 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ , 占生产要素集约度比例首次超过 50% (其所占比例

为 50.47%), 方程  $y_2=2.274x+64.81$  ( $R^2=0.9663$ ) 反映了化肥集约度的变化趋势。可见, 自 20 世纪 90 年代末以来, 化肥已经成为推动农业增产的最为重要因素。农药和农膜集约度占生产要素投入的比例很小, 22 a 来两者占生产要素集约度的比例分别从 0.44%和 0.07%上升到 0.98%和 0.30%。虽然农药和农膜集约度占生产要素集约度的比例较小, 但两者对农业增长的贡献不可否认。例如, 农药有效地控制了农作物病虫害, 如果没有农药世界粮食产量将至少减少一半<sup>[23]</sup>。农药和农膜集约度变化的方程分别为  $y_3=0.0475x+0.7994$  ( $R^2=0.9666$ ) 和  $y_4=0.0192x+0.1227$  ( $R^2=0.9935$ ) (表 1)。

表 1 中国耕地各投入要素集约度、复种指数和耕地利用集约度变化

Table 1 Changes of inputting factors intensity, multiple cropping index and land use intensity in China

$10^{13} \text{ sej} \cdot \text{hm}^{-2}$

年份 Year	工业辅助能集约度 $G$ Industrial supplementary energy intensity					劳动集约度 $L$ Labor intensity	生产要素集约度 $P$ Production factors intensity	复种指数 $M$ Multiple cropping index	耕地利用集约度 $I$ Cultivated land use intensity
	农业机械集约度 Farm machine intensity	化肥集约度 Fertilizer intensity	农药集约度 Pesticide intensity	农膜集约度 Agricultural film intensity	小计 Subtotal				
1990	7.94	61.66	0.80	0.12	70.52	109.77	180.29	1.132	204.08
1991	8.06	65.74	0.82	0.16	74.78	99.41	174.19	1.141	198.85
1992	8.34	68.42	0.86	0.20	77.82	100.19	178.01	1.140	202.90
1993	9.03	74.00	0.93	0.18	84.14	100.07	184.21	1.134	208.87
1994	9.75	77.13	1.07	0.23	88.18	95.12	183.30	1.140	208.99
1995	10.43	82.22	1.17	0.23	94.05	99.13	193.18	1.152	222.54
1996	11.18	85.94	1.21	0.26	98.59	96.23	194.82	1.172	228.30
1997	12.16	87.87	1.26	0.29	101.58	92.52	194.10	1.188	230.51
1998	13.20	88.82	1.28	0.29	103.59	82.23	185.82	1.205	223.98
1999	14.56	88.73	1.37	0.31	104.97	75.69	180.66	1.215	219.41
2000	15.94	88.87	1.33	0.32	106.46	71.89	178.35	1.219	217.37
2001	16.97	91.00	1.33	0.35	109.65	70.64	180.29	1.220	219.97
2002	18.12	92.82	1.37	0.38	112.69	67.26	179.95	1.228	220.97
2003	19.29	95.42	1.43	0.40	116.54	64.54	181.08	1.235	223.67
2004	20.53	98.98	1.46	0.42	121.39	57.10	178.49	1.254	223.83
2005	21.83	100.07	1.52	0.43	123.85	56.11	179.96	1.274	229.20
2006	23.74	105.42	1.64	0.46	131.26	49.89	181.15	1.249	226.34
2007	24.95	107.77	1.71	0.48	134.91	46.60	181.51	1.261	228.83
2008	26.46	108.13	1.73	0.49	136.81	43.02	179.83	1.284	230.87
2009	27.82	109.32	1.75	0.50	139.39	39.77	179.16	1.304	233.60
2010	29.10	110.58	1.77	0.51	141.96	37.68	179.64	1.321	237.31
2011	30.35	112.25	1.78	0.54	144.92	36.53	181.45	1.335	242.23

注:  $P=G+L$ 。

通过 Pearson 相关分析发现, 化肥、农药和农膜集约度与单位农作物播种面积上的农业产值 (1990 年不变价格) 的相关系数分别为 0.995、0.962 和 0.936, 并且在 0.01 的显著性水平下通过了检验。可见, 化肥、农药和农膜是对耕地产出效率影响较大的 3 项投入, 也是推进中国实现农业生产快速和稳步增长的手段。1990—2011 年, 三者

集约度之和分别从  $62.58 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$  上升到  $114.57 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ , 其所占生产要素集约度  $P$  的比例也由 34.71%上升到 63.14%。虽然, 化肥、农药和农膜对于促进农业稳定增长起到了至关重要的作用, 但由于过量使用, 其对农业生态环境已产生了明显的负面影响。目前, 中国化肥和农药的施用量居世界之首, 单位面积用量分别为世界平均水平

的3倍和2倍<sup>[15]</sup>; 由于不正确地施用化肥和农药, 中国已有7%的耕地面积受到污染, 导致的主要农业生态环境问题有土壤养分失衡、土壤酸化、土壤污染物质积累、土地退化等; 另外, 中国农膜的年平均残留量高达35万t, 残膜率达40%, 每年约有5~12万人的健康受到高残留农药的影响<sup>[15,23]</sup>。因此, 今后提高耕地利用集约度的方向应该是提高化肥、农药和农膜等要素的使用效率, 而不是其使用量。

### 2.1.3 劳动集约度

1990—2011年, 劳动集约度呈现出显著的下降趋势, 22 a间下降了  $73.24 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ , 降幅为66.72%, 年均下降5.10%; 其占生产要素集约度的比例也由60.88%下降到20.13%, 下降了40.75个百分点; 劳动集约度变化的方程为  $L = -3.6647x + 114.48$  ( $R^2 = 0.9782$ ) (表1)。传统农业是以劳动为主导(又称劳动密集型)的农业生产模式, 其生产效率低; 而现代农业则是大量使用农业机械和技术、大规模使用化肥、农药、农膜等物质的农业生产模式, 其生产效率高, 因而又被称为工业化农业<sup>[20]</sup>。从劳动集约度占生产要素集约度的比例来看, 1996年中国劳动集约度为  $96.23 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ , 其占生产要素集约度的比例首次低于50% (为49.39%), 也就是说工业辅助能集约度首次超过了50%。因此, 从耕地生产要素集约度的能值分析上看, 中国迈入现代农业发展阶段大致在20世纪90年代中期; 相比之下, 发达国家在20世纪50年代后就已经实现了由传统农业向现代农业的历史性转变<sup>[20]</sup>, 可见中国的农业现代化进程大致要落后发达国家40多年。

根据Lee的劳动力转移推拉理论, 中国劳动集约度下降的原因主要在于2个方面: 第一, 虽然在农村剩余劳动力的数量上存在争议, 但中国农村存在剩余劳动力是不争的事实<sup>[24-25]</sup>, 因此农民为提高生产效率及其自身收入水平, 必然会产生内在的推力, 促使农村剩余劳动力向非农部门转移。第二, 工业部门较高的收入, 城市在基础设施、公共服务、医疗卫生等方面的优越条件, 强烈地吸引着农民, 拉动农村劳动力不断向非农部门转移<sup>[21]</sup>。在劳动集约度不断下降的过程中, 根据中国统计年鉴(1991—2012年)中的农作物播种面积和农业总产值数据, 计算得到中国单位农作物播种面积的农业产值则由1990年的  $5\ 164.38 \times 10^4 \text{ 元/hm}^2$  增长到2011年的  $15\ 004.98 \times 10^4 \text{ 元/hm}^2$  (1990年不变价格), 因此单位劳动农业产值也由  $47.05 \text{ 元}/10^{13} \text{ sej}$  增长到  $410.77 \text{ 元}/10^{13} \text{ sej}$ , 这表明22 a来中国的农业劳动生产效率增长了8.73倍; 其主要原因在于: 第一, 农村剩余劳动力的转移, 有效地提高了劳动的边际生产效率; 第二, 农业机械化的不断发展, 提高了农

民的工作效率。劳动集约度的下降是农业经济发展的必然规律, 但它不可能一直下降, 随着农村劳动力的不断转移, 中国农村剩余劳动力已由20世纪90年代的1.2亿左右下降到2011年的1 669万, 可见中国农村剩余劳动力已经为数不多<sup>[24,26]</sup>。根据刘易斯劳动力转移理论, 随着农村劳动力持续转移和农业劳动生产效率的不断提高, 劳动力转移将出现拐点, 农业部门和城市工业部门对劳动力资源将产生竞争<sup>[26]</sup>。然而, 由于中国城市生活和福利条件明显优于农村, 因此在竞争过程中, 农业明显处于弱势地位。目前, 农村青壮年劳动力仍不断流向城市工业部门, 导致中国从事农业生产的劳动力普遍存在老龄化、妇女化和弱质化现象<sup>[27]</sup>; 例如, 目前中国51岁以上的农业劳动力所占比例已达33%, 预计到2020年将达到50%<sup>[22]</sup>。因此, 在“民工荒”和农业优质劳动力短缺的情况下, 如何优化配置劳动力资源, 以有效推进工业化、城镇化和农业现代化是一个需要研究的重要问题。

## 2.2 生产要素集约度、复种指数和耕地利用集约度变化分析

### 2.2.1 生产要素集约度和复种指数

1990—2011年, 生产要素集约度  $P$  由1990年的  $180.29 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$  呈波动状态上升到1996年的  $194.83 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ , 然后下降到2000年的  $178.35 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ , 2000—2011年生产要素集约度则保持平稳波动, 始终维持在  $180 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$  左右, 偏差在  $1.50 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ , 偏差幅度仅为0.83%。之所以呈现这一变化趋势, 主要是1990—1996年, 工业辅助能集约度  $G$  年均增长  $4.68 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ , 但期间劳动集约度  $L$  年均仅下降  $2.26 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ , 因而生产要素集约度  $P$  呈现出增长趋势; 1996—2000年则恰好相反, 其中工业辅助能集约度年均增长  $1.96 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ , 劳动力集约度年均下降  $6.08 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ ; 2000—2011年工业辅助能集约度增加量和劳动集约度下降量基本持平, 故生产要素集约度保持稳定(表1)。

1990—2011年, 中国复种指数呈现出上升趋势, 22 a来复种指数共上升了0.203, 升幅为17.94%, 年均增速为0.79%, 其变化方程为  $M = 0.0096x + 1.1084$  ( $R^2 = 0.9661$ )。复种是有效提高农业产出最简单直接并且行之有效的方, 在1986—1995年的10 a内, 中国复种指数增加了9.17个百分点, 增加复播面积  $850 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 年增产粮食达  $2\ 410 \times 10^4 \text{ t}$ , 占同期粮食总增产数的36.5%, 即农作物增产中有1/3多是靠复种得来的<sup>[28]</sup>。因此, 在化肥、农药和农膜集约度已经较高的情况下, 今后可更多地向提高复种指数方面努力。

### 2.2.2 耕地利用集约度

在生产要素集约度和复种指数的综合作用下,耕地利用集约度呈现出缓慢的增长趋势,22 a 来上升了  $38.15 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ , 提高了 18.70%, 年均增长 0.82%, 其变化方程为  $I=1.4967x+204.72(R^2=0.7364)$ 。从土地集约利用的概念和经济社会发展的实际可知,人口增长、经济发展、城市化和农业政策是驱动耕地集约利用的主要原因<sup>[3,16,18]</sup>。为定量揭示社会经济发展对耕地集约利用的影响,选取总人口数 ( $X_1$ )、人均耕地面积 ( $X_2$ )、人均 GDP ( $X_3$ )、城市化率 ( $X_4$ ) 和农业政策 ( $X_5$ ) 等 5 项指标进行主成分回归分析;其中 2004—2011 年,中国连续 8 a 的中央 1 号文件关注农业与农村发展,因此赋予其农业政策值为 1;而 1990—2003 年则为 0。

从各影响因素的标准化系数绝对值来看(表 2),各因素对耕地集约利用作用的大小依次为:  $X_4 > X_2 > X_1 > X_3 > X_5$ 。可见,1990 年代以来中国快速城市化和人口增长及其所导致的人均耕地面积减少,是推动中国耕地利用集约度不断提高的最为重要原因;而且,城市化和人口增长还增加了人们对食物的需求,迫使人们在单位耕地面积上生产更多的粮食,从而增加耕地的集约度。经济发展最为直接地表现是人们财富的增长,进而使得农民对耕地的物质投入能力和水平增强;农业政策则影响农民生产积极性和对耕地物质资本投入的意愿,进而影响耕地利用集约度。可见,经济发展和农业政策对耕地利用集约度的影响是间接的,相对于城市化、人口增长和人均耕地面积减少来讲,其影响程度相对较小。

表 2 主成分回归分析模型系数

Table 2 Coefficients of principle component regression model

影响因素 Factors	标准化回归系数 Standardized Beta
总人口 Total population $X_1$	0.850
人均耕地面积 Cultivated land per capita $X_2$	-0.853
人均 GDP GDP per capita $X_3$	0.825
城市化率 Urbanization ratio $X_4$	0.856
农业政策 Agricultural policy $X_5$	0.758
Adjusted $R^2$	0.738
F value	60.107
Sig.	<0.001

### 2.2.3 耕地利用集约度变化的分解

由式(4)和式(5)分解得到 1990—2011 年中国耕地利用集约度的变化情况。从表 3 可以看出,1990—2011 年,中国耕地利用集约度增长了 0.1858,其中复种指数增长了 0.1794,占 96.56%,而生产要素投入仅增长了 0.0064,占 3.44%;也就

是说 22 a 来,中国耕地利用集约度的增长绝大部分是由于复种指数提高而产生的。从不同发展时段来看(表 3),1990—1995 年由于工业辅助能集约度  $G$  的增长速度明显高于劳动集约度  $L$  的下降速度,因此生产要素集约度  $P$  呈现较快增长,其对于提高耕地利用集约度的贡献占 78.89%;而 1995—2000 年,由于劳动集约度下降速度快于工业辅助能集约度的增长速度,因而使得生产要素集约度下降了 0.077,虽然复种指数的增长率达到了 0.058,但耕地利用集约度的增长率仍下降了 0.019。从 2000—2005 年和 2005—2010 年 2 个阶段来看,劳动集约度的降低和工业辅助能集约度的提高大体持平,因而耕地利用集约度的增长都是源于耕地复种指数的增加。可见,随着中国耕地流转制度的完善和农业经营规模的扩大,劳动集约度的下降和工业辅助能集约度的提高仍将使生产要素集约度基本稳定,因此为提高耕地利用集约度,在工业辅助能集约度已较高的情况下(尤其是化肥和农药集约度已相当高),为保护农业生态环境,提高复种指数应受到更大的重视。

表 3 中国耕地利用集约度的因素分解

Table 3 Decomposition of cultivated land use intensity in different time in China

时段 Period	生产要素集约度 增长率 Growth rate of production factors intensity	复种指数 增长率 Growth rate of multiple cropping index	耕地利用集约度 增长率 Growth rate of cultivated land use intensity
1990—2011 年	0.0064	0.1794	0.1858
1990—1995 年	0.0710	0.0180	0.0900
1995—2000 年	-0.0770	0.0580	-0.0190
2000—2005 年	0.0090	0.0450	0.0540
2005—2010 年	-0.0020	0.0370	0.0350

## 2.3 中国耕地利用集约度的区域差异分析

### 2.3.1 1996 年中国工业辅助能集约度和劳动集约度的区域差异

工业辅助能集约度  $G$  和劳动集约度  $L$  在生产要素集约度  $P$  中所占比例的大小,是反映农业现代化程度的重要指标之一。图 1a 反映了 1996 年中国分省的工业辅助能集约度  $G$  和劳动集约度  $L$  的变化情况(1996 年正式中国处于传统农业向现代农业过渡的时间,选用该年进行分析可以承上启下)。从图 1a 中可以看出,劳动集约度大于工业辅助能集约度的省份主要有西藏、云南、贵州、青海、四川、广西、湖南等 7 个地区,其中西藏最高,达  $178.98 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ ,这些省份(湖南除外)都是西部经济欠发达的农业省份,其工业化和城市化水平较低,人口多集中在农村,因而劳动集约度较高,

而湖南的原因则有待进一步的分析。相比之下,工业辅助能集约度较高的省份主要有北京、上海、江苏、河北、天津、辽宁、吉林、黑龙江,其中北京最高,达  $168 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ , 这些省(市)都是经济

比较发达或者是工业基础比较好的省份,其城市化水平高,农村人口比例相对较小,再加上从事非农业生产的机会高,生产中普遍采用工业辅助能来替代劳动,因而其工业辅助能集约度明显较高。

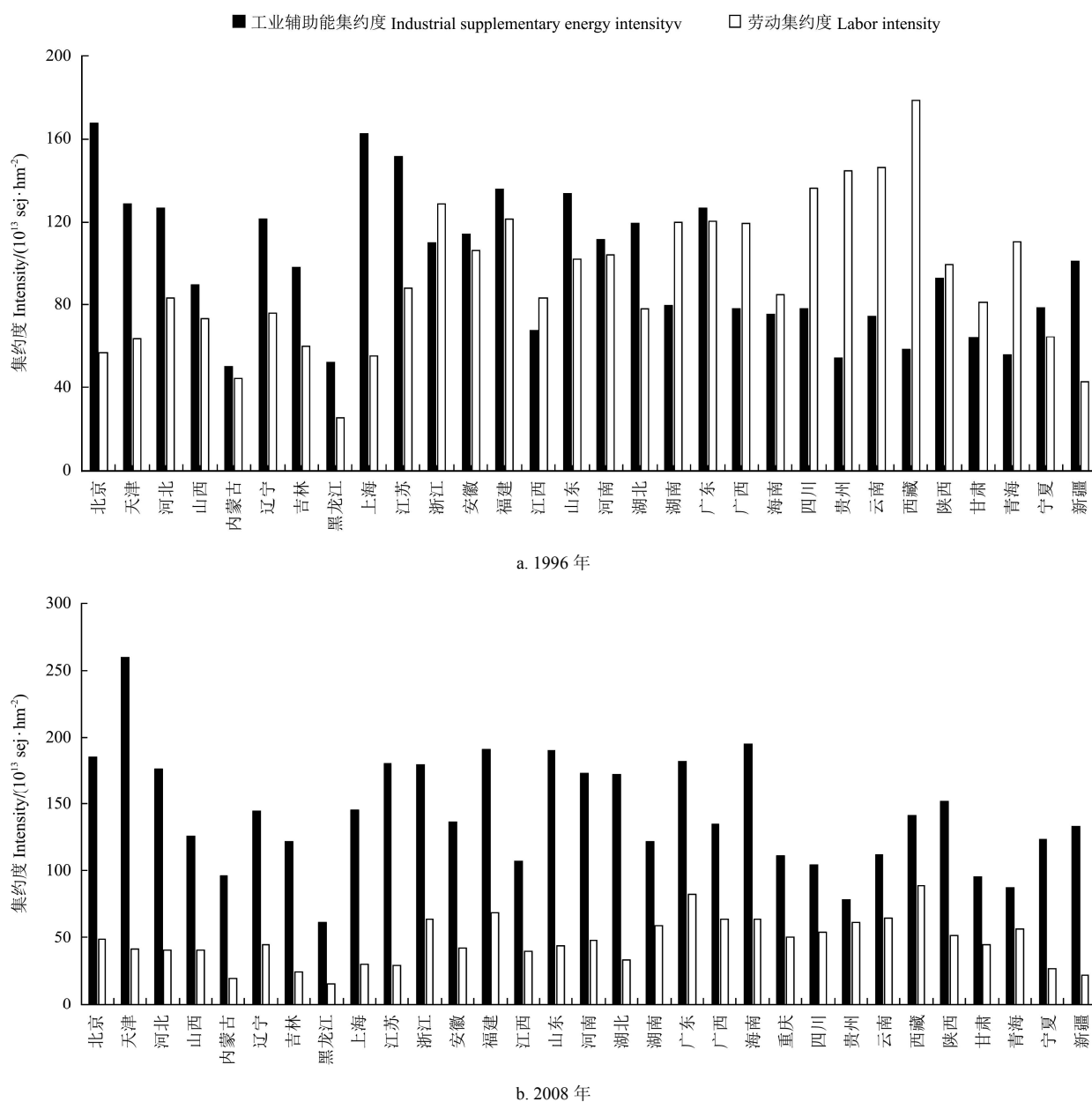


图1 1996和2008年中国各省的工业辅助能集约度和劳动集约度  
Fig.1 Industrial energy intensity and labor intensity in provinces of China in 1996 and 2008

利用1996年的数据,计算得到中国30个省(市、自治区)的 $V$ 值,其中最小的为西藏( $V$ 值为0.32);最大的为北京( $V$ 值为2.98)。将其划分为3个发展阶段: $0 < V \leq 1.0$ 为传统农业发展阶段; $1.0 < V \leq 1.5$ 为初步进入现代农业发展阶段; $V > 1.5$ 为基本进入现代农业发展阶段<sup>[9,20]</sup>。根据划分标准,1996年中国仍处于传统农业生产阶段的省份有西藏、贵州、青海、云南、四川、广西、湖南、甘肃、江西、浙江、

海南、陕西等12个地区;初步进入现代农业发展阶段的省份有广东、河南、安徽、福建、内蒙古、宁夏、山西、山东等8个地区;基本进入现代农业发展阶段的省份有河北、湖北、辽宁、吉林、江苏、天津、黑龙江、新疆、上海、北京等10个地区。

### 2.3.2 1996—2008年中国工业辅助能集约度和劳动集约度变化的区域差异

图1b反映了2008年中国各省工业辅助能集约

度和劳动集约度的变化,其中重庆市并入四川省计算(受研究资料局限,各省耕地面积数据只能更新到2008年)。从图1b可以看出,1996—2008年,中国30个省(市、自治区)的劳动集约度都有明显下降,而工业辅助能集约度则快速上升。13a来,劳动集约度降幅超过 $50 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ 的省份有西藏、四川、贵州、云南、浙江、安徽、湖南、江苏、山东、河南、广西、青海、福建等12个地区,其中西藏下降的最多,达 $90.80 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ ,而江苏则降幅最大,达67.64%。这些地区大部分是西部农业省份或中国的粮食主产区,存在较多的农村剩余劳动力,再加上其工业发展水平低,随着经济的发展,大部分农村劳动力向沿海发达地区非农产业转移;而浙江、江苏、福建等省则是经济发达地区,由于其1996年劳动力集约度相对较高,随着务农机会成本的增加,因而劳动力集约度也明显下降。相比之下,劳动力集约度降幅在 $25 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ 以下的省份有北京、黑龙江、新疆、海南、天津、内蒙古、上海,其中北京下降最小,仅为 $8.73 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ 。这些地区当中,北京、天津、上海为直辖市,前文分析表明1996年3市就已基本进入现代农业发展阶段,而且其劳动集约度本来就很低,下降空间很小;而其他地区则属于地广人稀的省份,因而其劳动集约度降幅也很小。

从工业辅助能集约度增长情况来看,增加在 $50 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ 以上的省份有天津、海南、西藏、浙江、河南、陕西、广西、山东、广东、福建、湖北等11个地区,其中天津增长最大,达 $131.06 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ 。这些地区当中,一部分属于沿海省份,1996—2008年,其经济呈现高速增长,大大增强了农民对耕地的物质投入;而河南、湖北等省份则属于粮食主产区,由于国家政策的扶持,其工业辅助能集约度也明显提高。工业辅助能集约度增长小于 $25 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ 的省份有上海、黑龙江、北京、安徽、辽宁、贵州、吉林等7个地区,其中上海的工业辅助能集约度反而下降了 $17.53 \times 10^{13} \text{ sej/hm}^2$ ,这些地区在1996年就已经基本进入现代农业生产阶段,故其工业辅助能增长的幅度较小。

2008年的农业现代化发展进程指数(V)中,贵州省最低为1.28,天津市最高为6.38。将V值划分为4个层次 $1.0 < V \leq 1.5$ 为初步农业现代化阶段, $1.5 < V \leq 3.0$ 为基本农业现代化, $3.0 < V \leq 4.5$ 为中度农业现代化, $V > 4.5$ 为高度农业现代化<sup>[9,20]</sup>。根据此划分标准,处于初步农业现代化阶段的只有贵州省1个,处于基本农业现代化阶段的省份有青海、西藏、云南、四川、湖南、广西、甘肃、广东、江西、福建、浙江、陕西等12个地区,处于中度农业现代化发展

阶段的省份有海南、山西、安徽、辽宁、河南、北京、黑龙江、山东、河北等9个地区,处于高度农业现代化发展阶段的省份有宁夏、上海、内蒙古、吉林、湖北、新疆、江苏、天津等8个地区。

### 2.3.3 耕地利用集约度变化的因素分解及其区域差异

利用式(4)和式(5)分解得到1996—2008年中国各省(市、自治区)耕地利用集约度的变化情况(表4)。

表4 1996—2008年中国各省耕地利用集约度增长的因素分解

Table 4 Decomposition of cultivated land use intensity in the provinces of China from 1996 to 2008

地区 Area	生产要素集约度 增长率 Growth rate of production factors intensity	复种指数 增长率 Growth rate of multiple cropping index	耕地利用集约 度增长率 Growth rate of cultivated land use intensity
北京 Beijing	0.038	-0.112	-0.074
天津 Tianjin	0.563	-0.143	0.419
河北 Hebei	0.031	0.070	0.101
山西 Shanxi	0.021	0.068	0.089
内蒙古 Inner Mongolia	0.216	0.488	0.704
辽宁 Liaoning	-0.049	0.047	-0.003
吉林 Jilin	-0.075	0.240	0.165
黑龙江 Heilongjiang	-0.016	0.354	0.338
上海 Shanghai	-0.198	-0.081	-0.278
江苏 Jiangsu	-0.127	0.008	-0.119
浙江 Zhejiang	0.013	-0.307	-0.294
安徽 Anhui	-0.193	0.119	-0.074
福建 Fujian	0.007	-0.174	-0.168
江西 Jiangxi	-0.030	-0.062	-0.092
山东 Shandong	-0.013	0.003	-0.010
河南 Henan	0.019	0.181	0.200
湖北 Hubei	0.039	0.022	0.061
湖南 Hunan	-0.047	-0.056	-0.102
广东 Guangdong	0.070	-0.064	0.006
广西 Guangxi	0.002	-0.010	-0.008
海南 Hainan	0.617	-0.047	0.571
四川 Sichuan	-0.260	0.068	-0.192
贵州 Guizhou	-0.302	0.168	-0.134
云南 Yunnan	-0.202	0.255	0.052
西藏 Xizang	-0.035	0.051	0.016
陕西 Shaanxi	0.052	0.107	0.159
甘肃 Gansu	-0.039	0.109	0.070
青海 Qinghai	-0.139	0.154	0.015
宁夏 Ningxia	0.045	0.418	0.463
新疆 Xinjiang	0.074	0.407	0.481

从表4可以看出,耕地利用集约度增长率为负的省份有浙江、上海、四川、贵州、福建、江苏、湖南、安徽、江西、北京、山东、广西、辽宁等13



个地区, 另外广东省增长率也仅为 0.006。这 14 个地区中, 浙江、福建、北京、广东、江西、湖南、广西等 7 个地区耕地利用集约度的下降主要是由于复种指数  $M$  增长率的下降而导致的(上海的复种指数增长率也下降了 0.081), 其中浙江省下降最高, 达 0.307。这些地区都是中国南方水稻主产区, 其复种指数的下降, 不但导致耕地利用集约度的下降, 而且将对中国的粮食安全产生较大影响。辛良杰研究表明, 1998—2006 年间, 中国南方双季稻区至少有  $174.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$  的双季稻改为单季稻, 由此造成的水稻播种面积减少 13%, 水稻总产量减少 5.4%, 粮食总产量减少 2%, 其中经济发达省份“双改单”现象和产量损失尤为严重<sup>[29]</sup>。因此, 在中国南方水热条件优越的地区, 应更为重视提高复种指数。比较而言, 上海、四川、贵州、江苏、安徽、山东、辽宁等 7 个地区则是由于生产要素集约度  $P$  增长率的下降而导致的, 其中四川下降最多, 达 0.260, 主要是劳动集约度的快速降低而导致的。

相对于上述 14 个地区, 内蒙古、海南、新疆、宁夏、天津、黑龙江、河南、吉林、陕西、河北、山西、甘肃、湖北、云南、西藏、青海等 16 个地区的耕地利用集约度增长率则为正值, 其中内蒙古耕地利用集约度增长率最高, 达 0.704。青海、西藏、云南、甘肃、吉林、黑龙江等 6 个地区的生产要素集约度增长率均为负值, 但由于复种指数增长率较高, 因而使得其耕地利用集约度增长率仍为正值, 这表明复种指数的增加是这些地区耕地利用集约度增长的根本原因; 湖北、山西、河北、陕西、河南、宁夏、新疆、内蒙古等 8 个地区的生产要素增长率和复种指数增长率均为正值, 其中复种指数增长率占耕地利用集约度增长率的比例(也就是复种指数对于耕地利用集约度增长的贡献率)分别为 35.90%、76.55%、69.63%、67.20%、90.67%、90.19%、86.49%和 69.29%, 可见除湖北省外, 复种指数的增长是这些地区耕地利用集约度增长的主要原因; 天津和海南则正好相反, 2 个地区复种指数增长率为负值, 生产要素集约度的增长是其耕地利用集约度增长的根本原因。

### 3 政策启示

1) 1990—2011 年中国劳动集约度不断下降, 农业劳动生产率不断提高, 因而已经迈入劳动力转移的刘易斯拐点, 即城市工业部门和农业部门将在劳动力资源使用方面展开竞争。鉴于目前农业生产中已经开始出现老龄化、妇女化和弱质化现象, 必

须坚决实施《全国农民教育培训“十二五”发展规划》, 加快构建覆盖全国所有乡村的农民培训体系, 围绕农业生产开展现代农业生产的各种实用技术培训, 以满足现代农业发展、新农村建设和农民生产生活的实际需要。

2) 目前, 中国化肥、农药和农膜集约度已经相当高, 并且对农业生态环境和人们生活产生了明显的负面影响。因此, 必须有效控制化肥、农药和农膜的使用量, 提高其使用效率, 尤其是沿海的一些发达地区。与此同时, 应加快推进耕地质量监管保护信息化建设, 扩大测土配方施肥信息系统建设, 提高生物农药、高效低毒低残留农药的使用量, 在沿海经济发达且有条件的地区发展精准农业, 提高耕地利用率和产出率。

3) 复种指数是提高耕地利用集约度的重要方式, 目前南方水稻种植区复种指数不断下降, 已经对中国粮食安全产生了一定影响。农业生产效益低下是复种指数下降的根本原因, 因此必须进一步加强对种植粮食的补贴, 完善和细化粮食补贴政策, 具体应按照国家粮食实际播种面积进行补贴, 而且应将补贴直接补给种粮者而非土地承包者; 与此同时, 可以适度提高早稻和双季晚稻的收购价格水平<sup>[29]</sup>。鉴于劳动力短缺也是复种指数下降的重要原因, 应加快对劳动力节约型技术和农业机械设备的推广。

### 4 结 论

以能值为统一量纲, 分析了 1990—2011 年中国农业机械、化肥、农药、农膜和劳动力等五大生产要素集约度的变化; 通过分解耕地利用集约度, 分析了生产要素集约度和复种指数的时空变化, 主要研究结论如下:

1) 1990—2011 年, 农业机械、化肥、农药、农膜集约度年均增长速度分别为 6.59%、2.89%、3.88%和 7.42%, 而劳动集约度年均下降速度为 5.10%。1996 年工业辅助能集约度在生产要素集约度中的比例首次超过劳动集约度, 表明在 20 世纪 90 年代中期中国开始迈入现代农业发展阶段。1990—2011 年, 中国农业机械化水平大大提高, 化肥已经成为农业生产中最为重要的物质投入, 复种指数增长率为 0.1794, 对于耕地利用集约度的提高起到关键性作用。

2) 在经济和社会各因素的综合作用下, 中国耕地的工业辅助能集约度和劳动集约度变化的区域差异明显。1996 年, 劳动集约度大、农业现代化发展程度低的地区大多是中国西部经济社会发展

程度较低的地区,而劳动集约度小、农业现代化发展程度高的地区大多是中国经济发展程度高、工业化基础较好的地区。1996—2008 年,劳动集约度下降幅度较大的主要是西部农业省份和部分沿海经济发达地区,而下降幅度较小的主要是农业现代化发展程度较高的经济发达区和部分地广人稀的地区;工业辅助能集约度增长幅度大的主要是沿海经济发达地区和部分粮食主产区,增长幅度低的主要是农业现代化发展程度较高的地区。

3) 对耕地利用集约度分解的结果表明,1996—2008 年期间,有 14 个省(市、自治区)耕地利用集约度下降,其中 7 个是南方的水稻主产区,其主要原因是由于复种指数的下降而导致的;而其他 7 个则主要是由于生产要素集约度的下降而导致的。在 16 个耕地利用集约度增长的省(市、自治区)当中,有 13 个地区是由于复种指数的增长而导致的,而只有 3 个地区是由于生产要素集约度的增长所导致的。

#### [参 考 文 献]

- [1] 陈江龙,曲福田,陈雯. 农地非农化效率的空间差异及其对土地利用政策调整的启示[J]. 管理世界, 2004(8): 37—43.  
Chen Jianglong, Qu Futian, Chen Wen. The dissimilarity in space of the non-agricultural efficiency of farmland and its inspiration to the policy adjustment of use of land[J]. Management World, 2004(8): 37—43. (in Chinese with English abstract)
- [2] Zheng Huayu, Shen Lei. Evaluation of urban land intensive use: Take the case of a changing city of Shenzhen as an example[J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(6): 1009—1021.  
郑华玉, 沈镭. 城市土地集约利用评价研究: 以发展中的深圳市为例[J]. 自然资源学报, 2008, 23(6): 1009—1021. (in English with Chinese abstract)
- [3] 邓楚雄, 谢炳庚, 李晓青, 等. 长沙市耕地集约利用时空变化分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 230—237.  
Deng Chuxiong, Xie Binggeng, Li Xiaoqing, et al. Analysis on spatial-temporal change of cultivated land intensive use in Changsha city[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(1): 230—237. (in Chinese with English abstract)
- [4] 李秀彬, 朱会义, 谈明洪, 等. 土地利用集约度的测度方法[J]. 地理科学进展, 2008, 27(6): 12—17.  
Li Xiubin, Zhu Huiyi, Tan Minghong, et al. Measurement of land use intensity[J]. Progress in Geography, 2008, 27(6): 12—17. (in Chinese with English abstract)
- [5] 谢花林, 邹金浪, 彭小琳. 基于能值的鄱阳湖生态经济区耕地利用集约度时空差异分析[J]. 地理学报, 2012, 67(7): 889—902.  
Xie Hualin, Zou Jinlang, Peng Xiaolin. Spatial-temporal difference analysis of cultivated land use intensity based on emergy in Poyang Lake Eco-economic Zone[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(7): 889—902. (in Chinese with English abstract)
- [6] 朱会义, 李秀彬, 辛良杰. 现阶段我国耕地利用集约度变化及其政策启示[J]. 自然资源学报, 2007, 22(6): 907—915.  
Zhu Huiyi, Li Xiubin, Xin Liangjie. Intensity change in cultivated land use in China and its policy implications[J]. Journal of Natural Resources, 2007, 22(6): 907—915. (in Chinese with English abstract)
- [7] 刘成武, 李秀彬. 基于生产成本的中国农地利用集约度的变化特征[J]. 自然资源学报, 2006, 21(1): 9—15.  
Liu Chengwu, Li Xiubin. The changing characteristics of the agricultural land use intensity in China based on the production cost[J]. Journal of Natural Resources, 2006, 21(1): 9—15. (in Chinese with English abstract)
- [8] 蓝盛芳, 钦佩袁, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 36—54.
- [9] 姚成胜, 朱鹤健. 基于能值理论的福建省农业系统动态研究[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(2): 247—251.  
Yao Chengsheng, Zhu Hejian. Dynamic study on agricultural system in Fujian province based on emergy theory[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2008, 17(2): 247—251. (in Chinese with English abstract)
- [10] 王千, 金晓斌, 周寅康, 等. 河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因[J]. 生态学报, 2011, 31(1): 247—256.  
Wang Qian, Jin Xiaobin, Zhou Yinkang et al. Spatial differences and its driving factors of emergy indices on cultivated land eco-economic system in Hebei Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(1): 247—256. (in Chinese with English abstract)
- [11] 徐慧, 黄贤金, 赵荣钦, 等. 江苏省沿海地区耕地系统能值分析及高效持续利用评价[J]. 自然资源学报, 2011, 26(2): 247—258.  
Xu Hui, Huang Xianjin, Zhao Rongqin, et al. Study on the emergy analysis and efficiency and sustainability evaluation of the coastal region cultivated land system in Jiangsu Province[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(2): 247—258. (in Chinese with English abstract)
- [12] 王秀红. 生态脆弱区耕地集约利用变化的能值分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(26): 252—256.  
Wang Xiuhong. Emergy analysis of intensive cropland use change in ecological fragile area[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(26): 252—256. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张琳, 张凤荣, 吕贻忠, 等. 耕地利用集约度的变化规律研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(12): 4127—4133.  
Zhang Lin, Zhang Fengrong, Lü Yizhong, et al. Study on

- the law of change of arable land use intensity with economic growth[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(12): 4127—4133. (in Chinese with English abstract)
- [14] 张琳, 张凤荣, 安萍莉, 等. 不同经济发展水平下的耕地利用集约度及其变化规律比较研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(1): 108—112.
- Zhang Lin, Zhang Fengrong, An Pingli, et al. Comparative study of cultivated land use intensive degree and its change law at different economic levels[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2008, 24(1): 108—112. (in Chinese with English abstract)
- [15] 张桃林, 李忠佩, 王兴祥. 高度集约农业利用导致的土壤退化及其生态环境效应[J]. *土壤学报*, 2006, 43(5): 843—850.
- Zhang Taolin, Li Zhongpei, Wang Xingxiang. Soil degradation and its eco-environmental impact under highly-intensified agriculture[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(5): 843—850. (in Chinese with English abstract)
- [16] 姚成胜. 基于压力-状态-响应(PSR)模型的江西省农地集约利用综合评价及政策建议[J]. *农业现代化研究*, 2010, 31(3): 312—315.
- Yao Chengsheng. Comprehensive evaluation on intensive of agricultural land use based on PSR model and policy suggestion[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2010, 31(3): 312—315. (in Chinese with English abstract)
- [17] 李子奈, 潘文卿. 计量经济学: 第二版[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 189—207.
- [18] 陈瑜琦, 李秀彬. 1980年以来中国耕地利用集约度的结构特征[J]. *地理学报*, 2009, 64(4): 469—478.
- Chen Yuqi, Li Xiubin. Structural change of agricultural land use intensity and its regional disparity in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(4): 469—478. (in Chinese with English abstract)
- [19] 陆宏芳, 陈烈, 林永标, 等. 顺德产业生态系统能值动态分析[J]. *生态学报*, 2005, 31(9): 2188—2196.
- Lu Hongfang, Chen Lie, Lin Yongbiao, et al. Emergy synthesis of the dynamics of the Shunde industrial system[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 31(9): 2188—2196. (in Chinese with English abstract)
- [20] 曹林奎, 高峰. 中国现代农业的基本特征[J]. *中国农学通报*, 2005, 21(7): 115—118.
- Cao Linkui, Gao Feng. Study on basic characteristics of modern agriculture in China[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(7): 115—118. (in Chinese with English abstract)
- [21] 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[J]. *自然资源学报*, 2010, 25(4): 686—695.
- Tian Yujun, Li Xiubin, Chen Yuqi, et al. A review on research advances in farm labor migration and its impacts on farm land use[J]. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(4): 686—695. (in Chinese with English abstract)
- [22] 刘卉. 城镇化进程中的粮食安全政策研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2012.
- Liu Hui. Policy on Food Security During the Urbanization Process[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2012. (in Chinese with English abstract)
- [23] McBeath J H, McBeath J. Environmental Change and Food Security in China[M]. New York: Springer publishing company, 2010: 120—156.
- [24] 蔡昉, 王美艳. 农村劳动力剩余及其相关事实的重新考察[J]. *中国农村经济*, 2007(10): 4—12.
- Cai Fang, Wang Meiyan. Re-evaluation of rural surplus labor and its related facts[J]. *China Rural Economy*, 2007(10): 4—12. (in Chinese with English abstract)
- [25] 涂圣伟, 何安华. 中国农村剩余劳动力存量及变动趋势预测[J]. *经济与管理研究*, 2011(3): 111—117.
- Tu Shengwei, He Anhua. Estimation and movement trend of surplus labors in China rural areas[J]. *Research on Economics and Management*, 2011(3): 111—117. (in Chinese with English abstract)
- [26] 孟令国, 刘薇薇. 中国农村剩余劳动力的数量和年龄结构研究[J]. *经济学家*, 2013(4): 37—42.
- Meng Lingguo, Liu Weiwei. A study on population and age structure of Chinese rural surplus labor[J]. *Economist*, 2013(4): 37—42. (in Chinese with English abstract)
- [27] 李岳云. 工业化、城市化与粮食安全[J]. *现代经济探讨*, 2007(1): 27—30.
- Li Yueyun. Industrialization, urbanization and food security[J]. *Modern Economic Research*, 2007(1): 27—30. (in Chinese with English abstract)
- [28] 左丽君, 张增祥, 董婷婷, 等. 耕地复种指数研究的国内外进展[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(3): 553—560.
- Zuo Lijun, Zhang Zengxiang, Dong Tingting, et al. Progress in research on multiple cropping index[J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(3): 553—560. (in Chinese with English abstract)
- [29] 辛良杰, 李秀彬. 近年来我国南方双季稻区复种的变化及其政策启示[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(1): 58—65.
- Xin Liangjie, Li Xiubin. Changes of multiple cropping in double cropping rice area of Southern China and its policy implications[J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(1): 58—65. (in Chinese with English abstract)

# Temporal and spatial change of cultivated land use intensity in China based on emergy theory

Yao Chengsheng<sup>1</sup>, Huang Lin<sup>2</sup>, Lü Xi<sup>1</sup>, Duan Min<sup>1</sup>

(1. *College of Economics and Management, Nanchang University, Nanchang 330031, China;*

2. *Foreign Languages College, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China*)

**Abstract:** Limited cultivated land has become one of the major restrictions for China's social and economic development, and how to use it intensively is the focus of the Chinese government and research scholars. Based on emergy theory and methods, the cultivated land use intensity ( $I$ ) was composed of production factors intensity ( $P$ ) and multiplies the multiple cropping index ( $M$ ). On this basis, the paper analyzed the temporal and spatial change law of all the five production factor intensities, which are farm machinery, fertilizer, pesticide, agricultural film and labor, and the multiple cropping index in China from 1990 to 2011. The results showed: Firstly, during the past 22 years, the farm machinery intensity, fertilizer intensity, pesticide intensity, and agricultural film intensity were all in a linear growth trend, and their annual growth rates were 6.59%, 2.89%, 3.88% and 7.42% respectively; while the labor intensity was in a linear decreasing trend, and its decreasing rate was 5.10 percent. In 1996, the possession of industrial supplementary energy intensity, including farm machinery, fertilizer, pesticide, and agricultural film, in the total production factors intensity first exceeded 50 percent, which meant that China had entered the modern agriculture stage in the middle of 1990s. During the study period, multiple cropping index was also in a linear growth, and the annual growth rate is 0.79%; its total increasing rate was 0.1794 in the past 22 years, and was the major driving force of the increase of land use intensity. Secondly, in 1996, the provinces with high labor intensity and low development of modern agriculture were mainly located in the western part of China, and the typical characteristics of these provinces were that they were all rated with a relatively low level of social and economic development; While in the provinces with high development of economic levels and a good industrial foundation, the labor intensity was low and development of modern agriculture was high. From 1996 to 2008, most provinces in the western part of China and some of the coastal provinces in the eastern part of China, labor intensity decreased a lot; while in the provinces with high economic development and the provinces with more land and fewer persons, labor intensity decreased only a little. In the provinces with high economic development in the eastern coastal part of China and some major grain producing areas, industrial supplementary energy intensity increased a lot; In the provinces with high development of modern agriculture, industrial supplementary energy intensity increased only a little. Thirdly, from 1996 to 2008, in the major rice producing areas in southern part of China, the multiple cropping index decreased a lot, which was the major reason that contributed to the decreasing of their land use intensity; In most provinces in the northern part of China, the multiple cropping index increased a lot, which was the major reason that improved their land use intensity.

**Key words:** land use; fertilizers; pesticides; cultivated land; intensive use; emergy; temporal and spatial variation

(责任编辑: 张俊芳)