

南京市耕地利用集约度变化及影响因素研究

戴毅豪¹, 翁翎燕^{1*}, 张超^{2,3}, 刘柄麟⁴, 张涵玥¹ (1. 南京大学金陵学院, 江苏南京 210089; 2. 上海师范大学生命与环境科学学院, 上海 200234; 3. 清华大学环境学院, 北京 100084; 4. 上海师范大学城市生态与环境研究中心, 上海 200234)

摘要 基于能值分析理论对2000—2015年南京耕地利用集约度进行测算并进行时序变化分析, 运用灰色关联法分析各影响因素对南京耕地利用集约度的贡献率。结果表明: 南京耕地利用集约度持续上升; 各投入要素中, 农业机械集约度快速增长, 劳动力、农用化肥和农药集约度呈下降趋势; 各影响因素中, 耕地利用集约度与建设用地面积之间耦合度最强。

关键词 耕地利用集约度; 能值分析; 灰色关联; 南京

中图分类号 F301.24 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)04-0066-04

Temporal Variation and Its Impact Factors of Cultivated Land Use Intensity in Nanjing

DAI Yi-hao¹, WENG Ling-yan¹, ZHANG Chao^{2,3} et al (1. Jinling College, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210089; 2. College of Life and Environmental Science, Shanghai Normal University, Shanghai 200234; 3. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract Based on the energy theory, an estimate of cultivated land use intensity in Nanjing from 2000 to 2015 was made and its temporal variation was analyzed. Then the contribution rate of each influencing factor to cultivated land use intensity in Nanjing was analyzed by gray correlation method. The results showed that: The cultivated land use intensity in Nanjing was increasing; among the input factors, the intensity of agricultural machinery was increasing rapidly, and the labor force, agro-chemical fertilizer and pesticide concentration were declining. The coupling degree between cultivated land use intensity and construction land area was the strongest among the influencing factors.

Key words Cultivated land use intensity; Energy analysis; Gray correlation; Nanjing

城市规模的扩张, 社会经济的发展一方面侵占了大量的耕地, 将其转为非农用地; 另一方面, 也增大了对粮食的需求量。面对耕地资源减少、后备耕地资源严重不足的严峻形势, 保护耕地、利用有限的耕地资源维持巨大的粮食需求已成为社会关注的热点。而耕地的集约利用则是缓解耕地资源不足、满足粮食需求的一种有效途径。

目前, 许多学者在耕地集约利用的时空变化^[1-2]、影响因素^[3-4]、评价体系^[5]、与社会经济发展的耦合性^[6]等方面均有深入研究。从研究方法的角度, 用于耕地集约度计算的方法有很多^[7], 能值分析法是近年来新兴的方法。它采用能值形态对耕地上要素的投入统一量纲后, 进行耕地利用集约度的测度, 有效地解决了统一量纲的问题, 但难以涵盖所有投入要素, 如除草剂、种子等^[8]。能值分析法还被用于土地可持续利用评价^[9]、生态足迹研究^[10]等方面。在以往采用能值分析法测算耕地集约度的研究中, 主要是研究时空演变及与社会经济发展的协调性^[11-12]。笔者采用能值分析方法进行耕地利用集约度的计算, 对其时序变化及结构特征进行研究, 并运用灰色关联法分析各影响因素对耕地利用集约度的贡献率, 以期南京农业朝着低污染、机械化程度高、劳动力投入低的现代化、环境友好型农业的方向发展。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况 南京市位于我国东部, 长江下游中部地区, 江苏省西南部。地处长江两岸, 气候湿润, 土壤肥沃, 淡水资源丰富, 是我国重要的农业和商品粮基地之一。2000年以来, 南京市经济突飞猛进。至2015年, 南京为9 720.77亿元, 位居全国城市前列, 同比增长9.2%。其中第一产业生产

总值232.39亿元, 占南京市生产总值的2.4%; 第二产业生产总值3 916.77亿元, 占南京市生产总值的40.3%, 第三产业生产总值5 571.61亿元, 占57.3%。

经济发展推动了城市扩张, 侵占了大量耕地转为非农用地。2000—2015年南京耕地面积不断减少, 而建设用地的面积快速增加。到2015年, 南京市耕地面积23.7万hm², 比2000年减少了6.6万hm², 而建设用地面积为18.48万hm², 比2000年增加了5.66万hm²。耕地面积的减少及城市的扩张威胁着南京市粮食安全。

1.2 数据来源 耕地面积、劳动力投入数量(该研究中用农林牧渔业从业人员数量代替)、农业机械(汽油、柴油、电力发动机)总动力、农用化肥(氮肥、磷肥、钾肥、复合肥)施用量、农药使用量及农膜使用量主等生产要素投入数量主要来源于2001—2016年《南京统计年鉴》, 2000—2015年南京市建设用地面积来源于南京市国土资源局统计数据。

1.3 研究方法

1.3.1 能值分析。 能值分析理论由美国学者Odum^[13]在20世纪80年代后期所创立, 他将能值定义为“一流动或储存的能量所包含另一种类别能量的数量”, 并进一步解释为“产品或劳务形成过程中直接或间接投入应用的一种有效能的总量”^[14]。在实际应用中, 以“太阳能值”来衡量某一能量的能值, 太阳能值的单位为太阳能焦耳(solar emjoules, 简写为sej)^[15]。

集约度是指单位土地面积所投入的劳力和资本的数量^[16], 单位面积耕地上所投入劳力和资本的数量越大, 耕地利用集约度越高, 反之越低。根据能值分析理论, 可以将耕地集约度看作耕地上所投入各生产要素的集约度与复种指数共同作用的结果^[17]。

南京市耕地的投入主要为耕地劳动力、农业机械动力、农用化肥、农药及农膜5种主要生产要素, 代表了耕地上生

作者简介 戴毅豪(1997—), 男, 江苏无锡人, 本科生, 专业: 人文地理与城乡规划。* 通讯作者, 讲师, 从事土地利用与生态环境效应研究。

收稿日期 2017-11-15

产要素投入的整体趋势,其他要素可忽略不计^[11]。该研究分别计算 5 种主要生产要素的集约度及复种指数来得到南京市耕地集约度。各投入要素的能值转换率等主要来自于元赫等^[12]、蓝盛芳等^[15]、汤进华等^[17]的研究结果。具体计算方法如下^[18]。

(1) 劳动力集约度。

$$L_E = T_l \cdot C_l \cdot N_l \quad (1)$$

式中, L_E 为每公顷耕地上投入劳动力的能值(sej/hm²); T_l 为劳动力的能值转化率, 3.80×10^5 sej/J; C_l 为劳动力的能量折算系数, 3.50×10^9 J/人; N_l 为每公顷耕地上的农林渔业从业人员的投入数量(人/hm²)。

(2) 农业机械动力集约度。

$$M_E = T_m \cdot C_m \cdot P_m \cdot z \quad (2)$$

$$z = 0.1 \times \left[\frac{M_a}{M_a + M_b + M_c} \times M_1 + \frac{M_b}{M_a + M_b + M_c} \times M_2 + \frac{M_c}{M_a + M_b + M_c} \times M_3 \right] \quad (3)$$

式中, M_E 为每公顷耕地上投入农业机械的能值(sej/hm²); T_m 为农业机械能值转化率, 7.50×10^7 sej/J; C_m 为农业机械动力的能量折算系数, 2.10×10^8 J/kg; P_m 为每公顷耕地面积上的农业机械总动力(kW/hm²); z 为各种农用机械的千瓦数折成千克数后,再乘上折旧系数 0.1 的值,动力机械(M_1)、排灌机械(M_2)和大型农具(M_3)分别为 104.72 kg/kW、4.96 kg/kW 和 393.04 kg/kW。 M_a 、 M_b 和 M_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)。

(3) 农用化肥集约度。

$$F_E = A\%_N \cdot T_N + A\%_P \cdot T_P \cdot A\%_K \cdot T_K \cdot A\%_M \cdot T_M \quad (4)$$

式中, F_E 为每公顷耕地上投入的农用化肥的能值,单位为 sej/hm²;A 为每公顷耕地上农用化肥使用折纯量(t/hm²); $\%_N$ 、 $\%_P$ 、 $\%_K$ 和 $\%_M$ 分别为农用化肥施用量中氮肥、磷肥、钾肥和复合肥所占比重; T_N 为氮肥的能值转换率, 3.80×10^{15} sej/t; T_P 为磷肥的能值转换, 3.90×10^{15} sej/t; T_K 为钾肥的能值转换率, 1.10×10^{15} sej/t; T_M 为复合肥的能值转化率, 2.80×10^{15} sej/t。

(4) 农药集约度。

$$P_E = T_P \cdot N_P \quad (5)$$

式中, P_E 为每公顷耕地上投入的农药的能值,单位为 sej/hm²; T_P 为农药的能值转化率, 1.62×10^{15} sej/t; N_P 为每公顷耕地上的农药使用量(t/hm²)。

(5) 农膜集约度。

$$Q\mu_E = T_{Q\mu} \cdot N_{Q\mu} \quad (6)$$

式中, $Q\mu_E$ 为每公顷耕地上投入的农膜的能值(sej/hm²); $T_{Q\mu}$ 为农膜的能值转化率, 3.80×10^{14} sej/t; $N_{Q\mu}$ 为每公顷耕地面积上的农膜使用量(t/hm²)。

(6) 复种指数。

$$M = \frac{A}{S} \times 100\% \quad (7)$$

式中, M 为复种指数; S 为耕地面积; A 为农作物总播种面积,

单位为 hm²。

(7) 耕地利用集约度。

$$I = (M_E + F_E + P_E + Q\mu_E + L_E) \times M \quad (8)$$

式中, I 为耕地利用集约度,单位为 sej/hm², M_E 、 F_E 、 P_E 、 $Q\mu_E$ 、 L_E 和 M 的含义同式(1)~(7)。

1.3.2 灰色关联分析。灰色关联分析源于邓聚龙教授创立的灰色系统理论。是根据因素间发展趋势的曲线的相似程度来判断因素间的关联程度的一种方法。灰色关联分析常被用于度量因素之间关联程度的关联度,在预测、评估、聚类等方面也有成功地应用^[19]。该研究运用灰色关联分析探究南京耕地利用集约度各影响因素的贡献率。

该研究将 2000—2015 年南京耕地利用集约度作为参考数列(即输出时间序列) $X_0(t)$ ($t=2000, 2001, \dots, 2015$),选取了第一产业增加值($i=1$)、人均 GDP($i=2$)、农村居民纯收入($i=3$)、建设用地面积($i=4$)4 个指标作为比较数列(即输入时间序列) $X_i(t)$ ($i=1, 2, 3, 4; t=2000, 2001, \dots, 2015$),并对参考数列与比较数列中的数据运用初值法进行无量纲化。无量纲化后可进行关联系数和关联度的计算,并通过关联分析进行耕地利用集约度与各影响因素关联水平的研究。

无量纲化计算公式如下:

$$X'_i(t) = \frac{X_i(t)}{X_i(2000)} \quad (i=0, 1, 2, 3, 4; t=2000, 2001, \dots, 2015) \quad (9)$$

关联系数的计算公式如下^[20]:

$$\beta_i(t) = \frac{\min_i \min_t |X_0(t) - X_i(t)| + \rho \max_i \max_t |x_0(t) - X_i(t)|}{|X_0(t) - X_i(t)| + \rho \max_i \max_t |X_0(t) - X_i(t)|} \quad (10)$$

式中, $|X_0(t) - X_i(t)|$ 为参考数列与对应的比较数列的差的绝对值; ρ 为分辨系数,分辨系数的大小影响着关联系数的差异,该研究中分辨系数 ρ 取 0.5。

关联度的计算公式如下:

$$\theta_{0i} = \frac{1}{16} \sum_{t=2000}^{2015} \beta_i(t) \quad (11)$$

关联度 θ_{0i} 的取值范围具体分级见表 1。

表 1 关联水平与特征

Table 1 Correlation level and characteristic

关联度值 Correlation value	关联水平 Correlation level	关联特征 Correlated feature
$0 < \theta_{0i} \leq 0.25$	关联水平低	两指标之间耦合度弱
$0.25 < \theta_{0i} \leq 0.5$	关联水平一般	两指标之间耦合度一般
$0.5 < \theta_{0i} \leq 0.75$	关联水平较高	两指标间耦合度较强
$0.75 < \theta_{0i} \leq 1$	关联水平高	两指标相对变化接近一致,耦合度强

2 结果与分析

2.1 耕地利用集约度的时序变化分析 由图 1 可知,2000—2015 年南京市耕地利用集约度处于持续上升的趋势,由 2000 年的 2.90×10^{18} sej/hm² 上升至 2015 年的 5.28×10^{18} sej/hm²,平均增长率为 4.41%。就时间跨度而

言,南京耕地利用集约度可以分为2个阶段:2000—2002年为快速增长阶段,2003—2015年总体表现为缓慢增长阶段。2000—2015年南京市耕地利用集约度的增长速度主要受农业机械集约度变化的影响。

2.2 各投入要素集约度的时序变化分析 运用能值分析方法对各投入要素的集约度进行计算,结果见表2。

由表2可知,南京市耕地的5种主要生产要素投入中,以农业机械集约度所占比重最大。2000—2015年农业机械集约度快速增长,由2000年的 $1\,967.711 \times 10^{15}$ sej/hm²增长至2015年的 $3\,945.998 \times 10^{15}$ sej/hm²,年平均增长率为4.97%,反映了南京市农业机械化水平不断提高。农膜集约度略有增加,由2000年的 0.006×10^{15} sej/hm²增长至2015年的 0.08×10^{15} sej/hm²;劳动力集约度、农用化肥集约度和农药集约度都持续降低。劳动力集约度减少了 1.666×10^{15} sej/hm²,农业机械化的提高减少了耕地上劳动力的投入,促进了农村劳动力的转移,剩余劳动力进城务工有利于提

高农村居民的生活水平;化肥集约度与农药集约度的减少反映了每公顷耕地上化肥与农药的投入减少,有利于农业朝着低污染的方向发展。

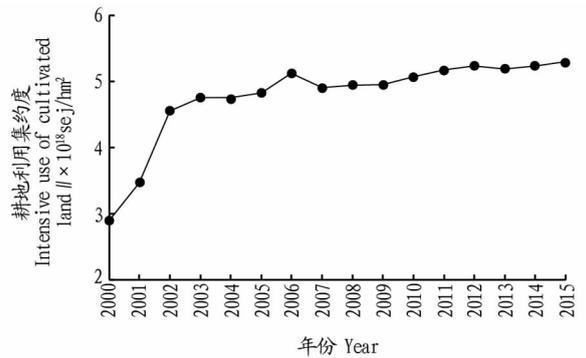


图1 2000—2015年南京耕地利用集约度时序变化

Fig. 1 Temporal variation of cultivated land use intensity in Nanjing during 2000–2015

表2 2000—2015年南京市耕地各投入要素集约度变化

Table 2 Temporal variation of the intensity of input factors of cultivated land in Nanjing during 2000–2015

年份 Year	$L_E // \times 10^{15}$ sej/hm ²	$M_E // \times 10^{15}$ sej/hm ²	$F_E // \times 10^{15}$ sej/hm ²	$P_E // \times 10^{15}$ sej/hm ²	$Q_{\mu E} // \times 10^{15}$ sej/hm ²
2000	3.018	1 967.711	2.083	0.032	0.006
2001	2.958	2 341.604	2.181	0.033	0.008
2002	2.876	2 700.123	2.338	0.035	0.009
2003	2.688	2 853.604	2.163	0.034	0.008
2004	2.374	2 869.644	2.171	0.030	0.008
2005	2.257	2 940.055	2.003	0.039	0.008
2006	2.012	3 550.696	1.825	0.024	0.007
2007	1.873	3 472.014	1.684	0.022	0.007
2008	1.745	3 412.169	1.345	0.020	0.007
2009	1.670	3 495.013	1.282	0.017	0.007
2010	1.666	3 616.792	1.236	0.016	0.008
2011	1.579	3 705.342	1.164	0.014	0.008
2012	1.521	3 782.017	1.130	0.014	0.008
2013	1.471	3 804.561	1.111	0.013	0.008
2014	1.442	3 871.676	1.076	0.012	0.008
2015	1.352	3 945.998	1.035	0.012	0.008

2.3 耕地利用集约度与影响因素的关联水平分析 通过灰色关联分析得到南京耕地利用集约度与第一产业增加值、人

均GDP、农村居民人均纯收入和建设用地面积之间的关联水平 and 特征,结果见表3。

表3 南京市耕地利用集约度与影响因素的关联水平与特征

Table 3 Correlation and characteristics of cultivated land use intensity and influencing factors in Nanjing

影响因素 Influencing factor	关联度 Correlation	关联水平 Relevance level	关联特征 Correlated feature
第一产业增加值 Primary industry added value	0.72	较高	耕地利用集约度与第一产业增加值之间耦合度较强
人均GDP Per capita GDP	0.70	较高	耕地利用集约度与人均GDP之间耦合度较强
农村居民人均纯收入 Per capita net income of rural residents	0.82	高	耕地利用集约度与农村居民纯收入之间耦合度强,相对变化接近一致
建设用地面积 Construction land area	0.90	高	耕地利用集约度与建设用地面积之间耦合度强,相对变化接近一致

由表3可知,各影响因素对耕地利用集约度的贡献率由大到小依次是建设用地面积(0.90)、农村居民人均纯收入(0.82)、第一产业增加值(0.72)、人均GDP(0.70)。4个因

素都与耕地利用集约度的关联水平处于较高及以上水平,其中以建设用地面积的关联度最高。建设用地面积的扩张侵占了耕地面积,为了保持粮食的产量,使单位耕地面积的粮

食产量增高,农民在耕地上增加了生产要素(主要是农业机械)的投入,从而提高了耕地利用集约度。农村居民人均纯收入的提高使农民有更多的资金对耕地进行生产要素的投入,每公顷耕地上的资本投入增加促进了耕地利用集约度的增加。第一产业增加值则反映了农林渔牧业的规模与水平的提升,农业规模的提升促进耕地利用的集约化。人均 GDP 反映了城市经济的发展,经济发展增强了农民对耕地物质投入的积极性,提高了耕地上资本投入的水平,同时有利于农田基础设施的建设,为促进耕地利用的集约化提供条件。

3 结论与讨论

3.1 结论 该研究运用了能值分析的方法计算了耕地利用集约度及劳动力、农用机械、农用化肥、农药和农膜等生产要素的集约度,并通过灰色关联分析来研究耕地利用集约度分别与第一产业增长值、人均 GDP、农村居民纯收入和建设用地面积 4 个因素之间的关联水平,得出了以下结论:

(1) 南京耕地利用集约度持续上升。南京耕地利用集约度持续增加,由 2000 年的 2.90×10^{18} sej/hm² 上升至 2015 年的 5.28×10^{18} sej/hm²。近 10 年耕地利用集约度的增加较为平缓。

(2) 农业机械集约度快速增长,劳动力、农用化肥和农药集约度呈下降趋势。农业机械集约度的上升与劳动力集约度的下降反映了农业机械水平的提高和农业现代化的发展。农用化肥和农药集约度的降低有利于促进农业的可持续发展,化肥和农药的投入减少有利于减轻环境压力,实现产出高效、产品安全、资源节约、环境友好的现代农业发展。

(3) 各影响因素中,建设用地扩张与耕地利用集约度的关联水平最高。各影响因素中建设用地面积和农村居民人均纯收入与耕地利用集约度的关联水平高,耦合度强;第一产业增加值和人均 GDP 与耕地利用集约度的关联水平较高,耦合性较强。对耕地利用集约度的贡献率由大到小依次是建设用地面积(0.90)、农村居民人均纯收入(0.82)、第一产业增加值(0.72)、人均 GDP(0.70)。耕地面积的减少,收入的增加,经济的发展都是影响农民增加耕地上生产要素投入的原因。

3.2 讨论

(1) 根据计算结果得出南京市耕地利用集约度上升的主要原因是农业机械投入的快速增长,而其他几种集约度的变化对南京耕地利用集约度的影响微乎其微,所占比重在不断下降。随着农业机械水平的提高,劳动力投入减少,农村剩余劳动力增多,大量剩余劳动力转移至城市务工,提高了家庭的收入水平,促进城市的建设,加速了经济的发展。家庭的收入水平提高使农民有更多的可支配收入投入到耕地利用中。

(2) 建设用地面积的扩张侵占了耕地面积,21 世纪以来南京耕地面积持续下降。随着城市的快速发展,南京市人口数量也在不断增加,对粮食的需求也在扩大。耕地利用集约度是有限度的,并不能无限增加。为防止耕地面积被侵占过多导致粮食产量小于需求,在节约和集约利用耕地的同时,也要实现城市土地的集约利用,严格控制建设用地的扩张,严格执行耕地保护制度,保护基本农田。从近几年的耕地面积变化来看,南京市耕地面积减少的幅度趋于缓慢。

(3) 不仅要集约利用耕地,还要促进耕地资源利用的可持续发展,实现环境友好的现代农业发展。南京市在过去的十多年间不断减少农用化肥和农药的使用量,其中农用化肥从 2000 年的 18.78 万 t 减少至 2015 年的 7.45 万 t,农药从 2000 年的 5 978 t 减少至 2015 年的 1 698 t。这 2 种生产要素投入的降低有利于减少环境污染,保证食品安全,使农业朝着低污染的方向发展。

参考文献

- [1] 朱晓. 江苏省耕地集约利用时空变化特征分析[D]. 南京:南京农业大学,2009.
- [2] 罗庆,杨慧敏,李新建,等. 河南耕地利用集约度的时空差异分析[J]. 河南大学学报(自然科学版),2015,45(6):673-680.
- [3] 李兆亮,杨子生,邹金浪. 我国耕地利用集约度空间差异及影响因素研究[J]. 农业现代化研究,2014,35(1):88-92.
- [4] 郝海广,李秀彬. 北方生态脆弱区农户耕地利用集约度及其影响因素分析:以内蒙古太仆寺旗为例[J]. 资源与生态学报:英文版,2011,2(2):117-125.
- [5] 吕晓,李振波,刘新平,等. 耕地集约利用评价指标体系研究:以新疆为例[J]. 新疆农垦经济,2007(9):30-33.
- [6] 赵京,杨敏. 耕地集约利用与经济发展的耦合关系[J]. 中国土地科学,2011(9):35-41.
- [7] 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.
- [8] 石淑芹,曹玉青,吴文斌,等. 耕地集约化评价指标体系与评价方法研究进展[J]. 中国农业科学,2017,50(7):1210-1222.
- [9] 舒帮荣,刘友兆,陆效平,等. 能值分析理论在耕地可持续利用评价中的应用研究:以南京市为例[J]. 自然资源学报,2008,23(5):876-885.
- [10] 张芳怡,濮润杰,张健. 基于能值分析理论的生态足迹模型及应用:以江苏省为例[J]. 自然资源学报,2006,21(4):653-660.
- [11] 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.
- [12] 于元赫,李子君. 山东省耕地利用集约度时空变化及政策启示[J]. 中国土地科学,2017,31(4):52-60.
- [13] ODUM H T. Emergy in ecosystems[M]//POLUIN N. Ecosystem theory and applicatio. New York:John Wiley & Sons,1986:337-369.
- [14] ODUM H T,ODUM E C,BROWN M T. Environment and society in Florida[J]. Florida: CRC Press,1997.
- [15] 蓝盛芳,钦佩,陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
- [16] 王万茂. 土地资源管理学[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,2010.
- [17] 汤进华,李晖. 基于能值理论的湖南省耕地利用集约度演变研究[J]. 中国农业资源与区划,2016,37(12):112-117.
- [18] 姚成胜,黄琳,吕晔,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.
- [19] 孙玉刚. 灰色关联分析及其应用的研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2007.
- [20] 刘建,刘丹,刘向远. Excel 在灰色关联分析中的应用[J]. 工业安全与环保,2007,33(7):47-49.

本刊提示 文稿题名下写清作者及其工作单位名称、邮政编码;第一页地脚注明第一作者简介,格式如下:“作者简介:姓名(出生年—),性别,籍贯,学历,职称或职务,研究方向”。