

河北省县域农田畜禽承载量与畜禽养殖量时空耦合

孙超^{1,2} 刘玉^{1,2} 潘瑜春^{1,2}

(1. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097)

摘要: 通过农作物种植面积计算农田畜禽承载量,并利用各类畜禽产排污系数估算区域畜禽理论养殖量,分析1994、2003、2013年河北省县域农田畜禽承载量与畜禽实际养殖量的变化态势及其耦合关系。研究表明:农作物播种面积呈现小幅波动态势,总量增加了83 663 hm²,以氮元素计的畜禽承载能力提高了108.7万头(猪当量);畜禽实际养殖量先增后减,总量增加了1 102万头(猪当量)。在仅考虑农作物种植面积消纳畜禽粪便的情境下,1994—2003年河北省有69个县市属于畜禽超载状态,有94.24%的县市生态持续衰退;2003—2013年农作物畜禽承载状况改善明显,超载的县市有26个,只占全省的18.7%。基于Ward聚类分析方法,将1994—2013年畜禽养殖量与农作物播种面积变化的耦合类型特征划分为9大区,提出了不同调控对策。

关键词: 农田; 畜禽承载量; 畜禽养殖量; 时空耦合; 河北省

中图分类号: X713 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)03-0173-08

Spatio-temporal Coupling between Livestock Carrying Capacity of Farmland and Livestock Breeding at County Level in Hebei Province

SUN Chao^{1,2} LIU Yu^{1,2} PAN Yuchun^{1,2}

(1. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China
2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China)

Abstract: Actual livestock and poultry breeding capacity was calculated by using area under crops and amount of breeding livestock based on GIS technology and modulation, the changes and spatio-temporal coupling relationship of the livestock and poultry breeding capacity and its volume in Hebei Province in 1994, 2003 and 2013 were analyzed by using crops planting area to calculate the capacity and using polluting coefficient to calculate the volume. The research result revealed that the acreage of crops was increased to 83 663 hm², and the areas were mainly concentrated in Chengde and south central plain. The livestock and poultry breeding capacity was increased to 1.087 million in counting of pigs, and the areas were mainly concentrated in Shijiazhuang, Tangshan, Zhangjiakou and other urban areas. The livestock and poultry breeding volume showed a trend of firstly increase and then decrease, which was increased by 11.02 million in counting of pigs. Considering the crops planting area as the only factor absorbing feces, following results could be deduced: there were 69 counties which were overloaded in Hebei Province between 1994 and 2003; 94.24% of the counties in Hebei Province were under ecological sustainable redline; overloaded situation was improved between 2003 and 2013, total number of overloaded counties was decreased to 26, which accounted about 18.7% of all counties in Hebei Province, except for Chengde and Tangshan, other areas of livestock and poultry over loaded counties were significantly reduced. Using Ward cluster analysis, coupling features were classified into nine regional types by its volume and changes of crops planting area in Hebei Province from 1994 to 2013. The research results provided decision support for development of livestock and poultry breeding industry and improvement on Beijing – Tianjin – Hebei eco-environment.

Key words: farmland; livestock and poultry breeding capacity; livestock and poultry breeding volume; spatio-temporal coupling; Hebei Province

收稿日期: 2016-06-27 修回日期: 2016-08-29
基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0800900)
作者简介: 孙超(1989—),男,工程师,主要从事区域农业与乡村发展研究,E-mail: sunc@nercita.org.cn
通信作者: 潘瑜春(1971—),男,研究员,主要从事GIS空间分析与空间信息系统集成研究,E-mail: panyc@nercita.org.cn

引言

《第一次全国污染源普查公报》显示,农业面源污染已经成为地表水污染的主要来源,其中畜禽养殖业化学需氧量、总氮排放量、总磷排放量分别为1 268.26 万 t、102.48 万 t 和 16.04 万 t^[1],其危害超过了工业污染^[2]。2015 年农业部印发《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案推进落实方案》和《全国农业可持续发展规划(2015—2030 年)》,提出到 2020 年实现化肥施用量零增长和养殖废弃物综合利用率达到 75%,京津冀、长三角、珠三角等区域要提前一年完成,畜禽废弃物治理与资源化利用已经刻不容缓。欧洲许多国家根据耕地面积确定畜禽养殖数量^[3],既降低了畜禽污染风险,又实现了养殖废弃物和作物秸秆的循环利用。但我国种植业和养殖业脱节的现象普遍,局地畜禽养殖密度过低或过高的现象并存,养殖密度过高会导致硝酸盐淋洗进而造成环境污染^[4-5],过低则不利于作物秸秆的消纳。因此,通过农作物播种面积确定畜禽养殖数量,以地定畜,实现土壤污染风险的最小化和畜禽废弃物利用最大化显得尤为重要。

区域农田面积承载的畜禽数量应有一个适宜的范围。特别是在城乡转型发展过程中,大多数地区的农田面积将减少,而畜禽产品需求量的增加需要畜禽养殖量的快速增长。未来一段时间内,养殖数量能否在满足人们需求的同时,控制在土地承载力的范围内,成为保障区域生态安全的重要前提。现有研究侧重国家、省市^[6-9]等宏观尺度以及县、乡^[10-11]等微观尺度单一年份的土地承载力分析;或深入开展对畜禽污染物含量^[12]、粪便耕地施用可达性^[13]、农作物面积估算^[14]等单一因素分析;以及通过多时间序列分析耕地的畜禽污染负荷^[15]等,而基于种养循环的县域农作物播种面积与畜禽养殖量耦合关系的定量研究较少,难以为畜禽养殖业布局提供有效支撑。

京津冀协同发展已经上升为国家战略,河北省被定位为产业转型升级试验区、新型城镇化与城乡统筹示范区、京津冀生态环境支撑区,并要求在生态环境保护领域要率先取得突破。1994—2013 年河北省农作物播种面积呈现波动中小幅增加趋势,畜禽业发展迅速,猪、羊、家禽数量分别增加了 19.35%、69.84% 和 167.37%;到 2020 年,河北省畜禽排放总氮量将位列全国第 3 位,畜禽污染风险加大^[16]。因此,本文从县域尺度探讨近 20 a 来河北省农田畜禽承载量与畜禽养殖量的时空格局及耦合关系,并基于 Ward 聚类分析方法根据耦合特征划分

类型区进而提出不同调控对策,为河北省开展种养循环和畜禽生态养殖提供参考依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

畜禽养殖数量、农作物播种面积数据来源于《河北农村统计年鉴(1995、2004、2014 年)》。在《河北农村统计年鉴》中,畜禽种类主要包括猪、大牲畜、羊和家禽,其中大牲畜和家禽排放系数按比重最大的牛和肉鸡计算。依据文献[17]中的华北区畜禽产排污系数,并参照文献[18-19]确定了猪、大牲畜、家禽的产排污系数。其中,猪产排污系数用 1/3 保育期产排污系数与 2/3 育肥期产排污系数之和计算;羊的产排污系数参照相关文献并取其平均值作为本文的估算参数^[20-21]。猪和家禽饲养期小于 1 a,以年出栏量为饲养量,大牲畜、羊饲养期大于 1 a,以年底存栏量为饲养量^[22]。通过氮和磷元素计算河北省县域畜禽养殖猪当量,发现养殖量变化差异较小,由于篇幅所限,本研究选定变化量较大、限制性因素更强的氮元素作为计算参数,结果如表 1 所示。

表 1 主要畜禽产排污系数
Tab.1 Pollutant generation and discharge coefficients of major livestock and poultry

种类	猪	大牲畜	羊	家禽
总产氮量/(kg·a ⁻¹)	10.86	44.84	0.78	0.52

1.2 研究方法

1.2.1 农田承载容量与农田畜禽承载量

农田氮承载容量计算公式为

$$T_{ij} = A_{ij}C_N \tag{1}$$

式中 T_{ij} —— i 区域 j 年农田承载容量,kg
 A_{ij} —— i 区域 j 年农作物播种面积,hm²
 C_N ——单位面积农作物的氮需求量限量标准,kg/hm²

朱兆良^[23]研究表明施氮量在 150 ~ 180 kg/hm² 时,作物可达到较高的产量水平,超过这一水平就会引起环境污染。因此确定河北省单位面积农作物的氮限量标准为 150 kg/hm²。在评估农田畜禽承载量时,应综合考虑化肥的施用类型与结构以满足作物高产的需要。本文在估算县域畜禽承载力时,假定氮养分 50% 来自畜禽粪便的施用。50% 比例与实际管理需求更为接近^[6],更具有参考价值。

农田畜禽承载量计算公式为

$$P_{Nij} = \frac{T_{ij}}{r} \times 10^{-4} \times 50\% \tag{2}$$

式中 P_{Nij} —— i 区域 j 年农田畜禽承载量(猪当量), 万头
 r ——单位猪年粪污总氮排放量, kg

1.2.2 畜禽养殖总量与畜禽承载状态

为便于计算,根据各类畜禽产排污系数和饲养期确定折算系数。以氮元素计算,牛、羊、家禽折算成猪当量的系数分别为 7.769、0.136 和 0.013,将其养殖量统一换算成猪当量。畜禽养殖总量计算公式为

$$P_{Eij} = \sum_{n=1}^m L_{ijn} C_{ijn} \tag{3}$$

式中 P_{Eij} —— i 区域 j 年畜禽养殖总量(猪当量), 万头
 L_{ijn} —— i 区域 j 年各类畜禽数量,万头
 C_{ijn} —— i 区域 j 年各类畜禽折算猪当量系数
 n ——畜禽种类(牛、羊、家禽)
畜禽承载容量计算公式为

$$I_{ij} = P_{Nij} - P_{Eij} \tag{4}$$

式中 I_{ij} —— i 区域 j 年畜禽承载容量
当 $I_{ij} > 0$ 时,表示 i 区域 j 年处于畜禽未超载状态,当 $I_{ij} < 0$ 时,表示 i 区域 j 年处于畜禽超载状态。

1.2.3 农畜弹性系数

弹性系数是指一定时期内相互联系的 2 个指标变化速度的比率,可衡量一个变量的变化幅度对另一个相关变量变化幅度的依存关系。从循环利用角

度考虑,畜禽粪尿含有大量的氮磷钾资源,如果能够合理返还农田将大幅度减少化肥施用量。种养循环是控制畜禽粪尿养分污染的重要途径^[24]。本文通过分析农田畜禽理论承载量与畜禽实际养殖量变化的方向及相对速度,揭示其变化的时空耦合特征。

农畜弹性系数计算公式为

$$C_{LECij} = \frac{C_{CRij}}{L_{CRij}} = \frac{\frac{P_{Nij} - P_{Ni0}}{P_{Ni0}}}{\frac{P_{Eij} - P_{Ei0}}{P_{Ei0}}} \tag{5}$$

式中 C_{LECij} —— i 区域 j 年农畜弹性系数
 C_{CRij} —— i 区域 j 年农田畜禽理论承载量的变化率
 L_{CRij} —— i 区域 j 年畜禽实际养殖量的变化率
 P_{Ni0} —— i 区域基期年农田畜禽理论承载量(猪当量),万头
 P_{Ei0} —— i 区域基期年畜禽实际养殖量(猪当量),万头

1.2.4 农畜变化耦合类型分区

选取农田畜禽理论承载量变化率、畜禽实际养殖量变化率、农畜弹性系数、县市经纬度坐标 5 项指标,在 ArcGIS 和 SPSS 软件支持下,采用 Ward 聚类分析法进行农田畜禽养殖承载状况分区。结果如表 2 所示。

表 2 农田畜禽承载能力与畜禽养殖量耦合状况分区
Tab.2 Zoning of coupling status between breeding capacity and volume of livestock and poultry

承载状态	理论变化率	实际变化率	农畜弹性系数范围	耦合类型	类型编号
超载	>0	>0	$0 < C_{LEC} < 1$	农田畜禽承载量增长慢于畜禽养殖量增长,持续衰退型	I
	<0	>0	$C_{LEC} < 0$	农田畜禽承载量降低,畜禽养殖量增长,持续衰退型	II
	<0	<0	$C_{LEC} > 1$	农田畜禽承载量降低快于畜禽养殖量减少,持续衰退型	III
	>0	>0	$C_{LEC} > 1$	农田畜禽承载量增长快于畜禽养殖量增长,转好趋势型	IV
	>0	<0	$C_{LEC} < 0$	农田畜禽承载量增长,畜禽养殖量减少,转好趋势型	V
	<0	<0	$0 < C_{LEC} < 1$	农田畜禽承载量降低慢于畜禽养殖量减少,转好趋势型	VI
未超载	>0	>0	$0 < C_{LEC} < 1$	农田畜禽承载量增长慢于畜禽养殖量增长,转衰趋势型	VII
	<0	>0	$C_{LEC} < 0$	农田畜禽承载量降低,畜禽养殖量增长,转衰趋势型	VIII
	<0	<0	$C_{LEC} > 1$	农田畜禽承载量降低快于畜禽养殖量减少,转衰趋势型	IX
	>0	>0	$C_{LEC} > 1$	农田畜禽承载量增长快于畜禽养殖量增长,持续良好型	X
	>0	<0	$C_{LEC} < 0$	农田畜禽承载量增长,畜禽养殖量减少,持续良好型	XI
	<0	<0	$0 < C_{LEC} < 1$	农田畜禽承载量降低慢于畜禽养殖量减少,持续良好型	XII

2 结果与分析

2.1 农作物播种面积时空变化

由图 1 可知,1994—2013 年农作物播种面积总体呈现波动态势,2003 年以前呈现先增后减的态势,2003 年达到最低,面积为 8 628 500 hm²,之后 10 年呈波动增加趋势。由图 2 可知,1994—2003 年,农

作物播种面积增加的县市有 75 个,主要集中在平原区,在农村劳动力减少的背景下,地势平坦便于农机等设备工作,且有充足的宜耕后备土地资源,这是该地区面积增加的主要原因;受退耕还林工程以及劳动力迁移等因素影响,燕山—太行山山区的农作物播种面积明显减少^[25]。2003—2013 年间,农作物播种面积增加的县市有 74 个,相比上一时期,承德农

作物播种面积显著增加,保定山区也呈增加态势;张家口农作物播种面积延续上一时期减少态势,其他县市变化不大。1994—2013年,农作物播种面积快速减少区域主要分布在张家口全境、迁安、霸州以及武安周围区域,集聚特征明显;种植面积增加区主要集中在承德和中南部平原区。总体而言,以山区—平原区为分界线,河北省县域农作物播种面积变化呈现明显的差异格局,由于山区务农成本会高于平原区,农户外出意愿更为强烈,在退耕还林、复种指数下降等综合作用下,山区农作物种植面积呈现下降趋势^[26];在耕地增加区,多以后备资源开发为主导,其潜在的生态风险亟需引起足够的重视。

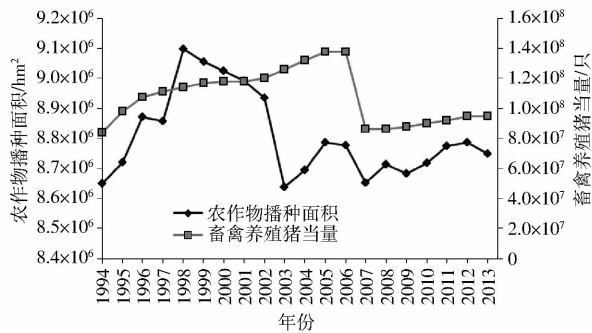


图1 1994—2013年河北省县域农作物种植面积与畜禽养殖量变化曲线

Fig.1 Changes of crop planting area and livestock and poultry breeding volume at county level in Hebei Province during 1994—2013

2.2 畜禽养殖量时空变化

在区域发展政策等综合影响下,1994—2013年河北省畜禽养殖量(猪当量)呈现快速增加趋势后,在2007年大幅减少,之后养殖量变化不大。由图3

可知,1994—2003年,畜禽养殖量快速增加,92%的县市畜禽养殖量呈增长态势,带动全省养殖总量增加43.93%。快速增加区主要集中在中南部地区和唐山周边县,其中大部分增幅在50万头(猪当量)以上,个别县域增加100万头以上。一方面,畜禽饲料安全、畜禽屠宰安全、畜禽兽药安全和养殖技术等逐渐成熟、完善,为畜禽养殖业发展提供了充足的物质基础和技术保障;另一方面,随着人们生活水平日益提高,畜禽需求量不断增大,且养殖畜禽收益较好,农民养殖积极性较高。沽源、崇礼等由于地处密云水库上游,受政策限制其畜禽养殖量减少。2003—2013年,畜禽养殖量相比上一时期显著减少,88%的县市养殖量有所减少,带动养殖总量减少43.57%。从空间分布看,上一时期养殖量增加较多的县市,近10a养殖规模有所缩小,主要原因是:一方面由于牛、马等大牲畜养殖量的大幅减少;另一方面,虽然猪和家禽数量均有不同程度的增加,但以氮折算系数折算成猪当量,1头牛相当于7.7头猪和574.1只家禽,猪和家禽所占比重较小,导致畜禽养殖量(猪当量)有所减少;增加区范围较小,主要集中在承德和张家口。总体上看,1994—2013年,畜禽养殖量增加了1102万头。从空间分布来看,畜禽养殖量增长的县市主要集中在石家庄、唐山、张家口等市区四周;减少量在50万头以上的县市全部集中在河北省中部,其中新乐减少109.9万头,是唯一减少量在100万头以上的县市。

2.3 农田畜禽理论承载量与畜禽实际养殖量变化的耦合特征

按照承载状态超载和未超载2种情形,进一步分析各时段河北省县域农田畜禽理论承载量和畜禽

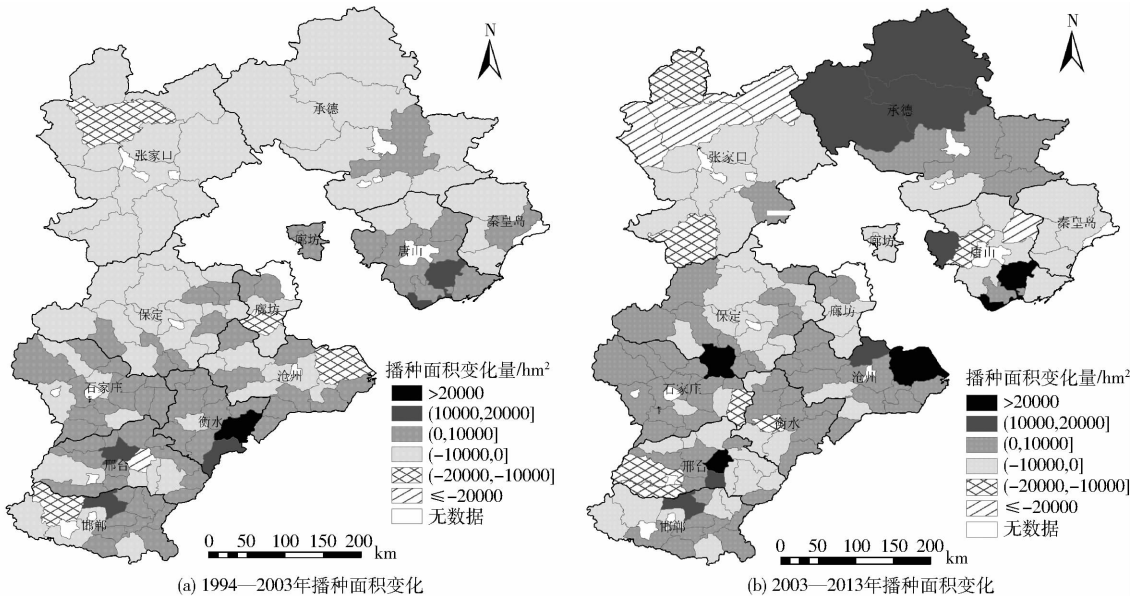


图2 1994—2013年河北省县域农作物播种面积变化空间格局

Fig.2 Changes of crop planting area at county level in Hebei Province during 1994—2013

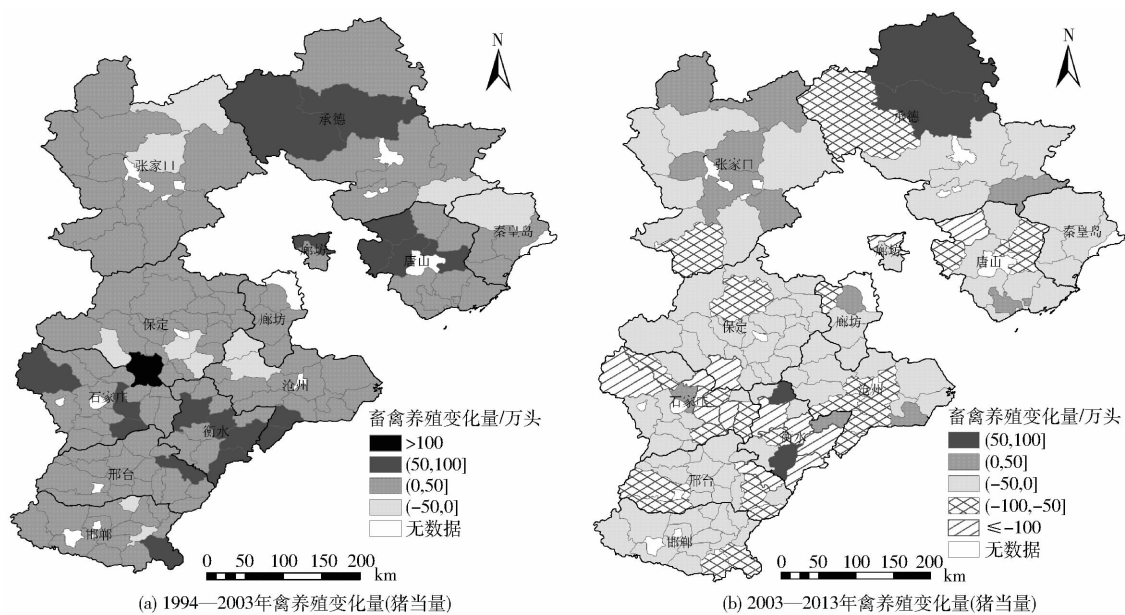


图 3 1994—2013 年河北省县域畜禽养殖量变化格局

Fig. 3 Changes of livestock and poultry breeding volume at county level in Hebei Province during 1994—2013

实际养殖量变化的耦合特征。由图 4 可知，在 1994—2003 年间，畜禽养殖超载的县市有 69 个，主要分布在燕山、太行山和沿海地区，在承德、唐山、秦皇岛和石家庄等市较为集中。67 个县市属于生态持续衰退型，其中 39 个县市属于类型 I，主要分布在平原地区；26 个县市属于类型 II，大部分分布在燕山—太行山地区；宽城和曲阳属于类型 III。仅有新乐和青龙属于生态转好趋势型县市，这 2 个县市畜禽粪便污染风险减小。畜禽养殖未超载的 70 个县市主要分布在张家口、保定、沧州、邢台和邯郸等市，仅有 6 个属于生态持续良好型。在属于生态转衰趋势型的 64 个县市中，30 个县市属于类型 VII，主

要分布在河北省中南部；31 个县市属于类型 VIII，主要集中在张家口和保定，邯郸、衡水等也有零星分布；仅有 3 个县市属于类型 IX。从种养结合角度分析，1994—2003 年河北省有 49.64% 的县市属于超载状态，有 94.24% 的县市属于生态持续衰退型和生态转衰趋势型，山区、丘陵区县市主要是因为农作物播种面积的快速减少，而平原区县市主要是畜禽养殖量的快速增加导致。

由图 5 可知，在 2003—2013 年间，畜禽养殖超载的县市有 26 个，只占全省的 18.7%，主要集中在承德、石家庄和唐山等市。有 6 个属于生态持续衰退型县市。在 20 个属于生态转好趋势型县市中，围

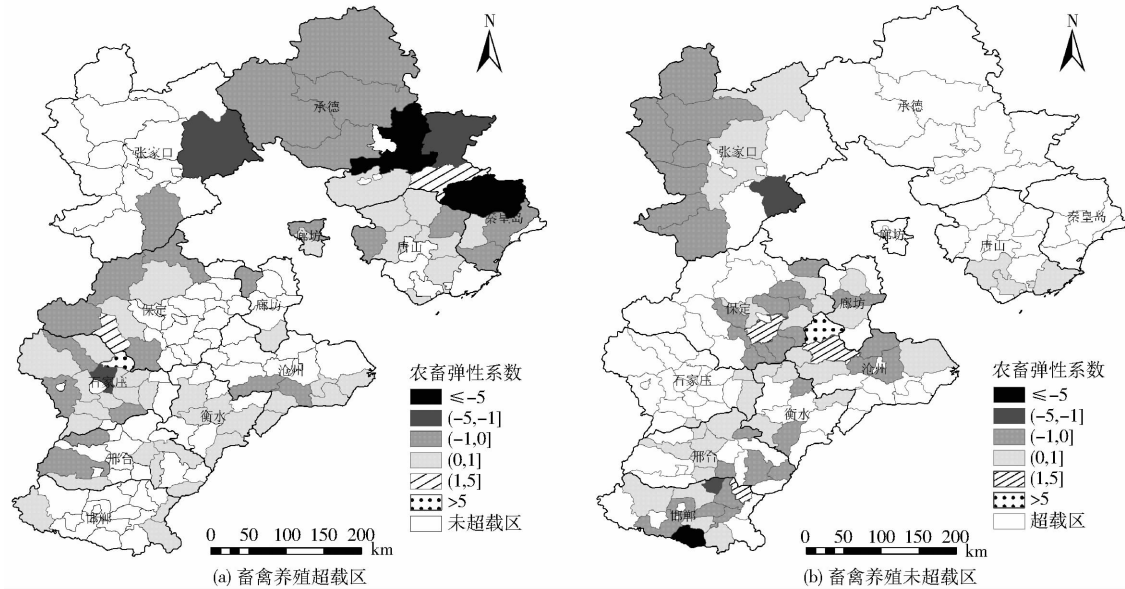


图 4 1994—2003 年河北省县域农畜弹性系数变化格局

Fig. 4 Changes of elastic coefficient between breeding capacity and volume of livestock and poultry in Hebei Province during 1994—2003

场和盐山属于类型Ⅳ；有 10 个县市属于类型Ⅴ，主要分布在承德和石家庄；其余 8 个县市属于类型Ⅵ，集中在河北省东北部。畜禽养殖未超载的县市有 113 个，主要集中在河北省东北部以外的其他地区。有 10 个县市属于生态转衰趋势型，其中枣强属于类型Ⅶ；7 个县市属于类型Ⅷ，主要集中在张家口；青龙和安平属于类型Ⅸ。在 103 个生态持续良好型县域中，宽城、永清和阜城属于类型Ⅹ；56 个县市属于类型Ⅺ，主要分布在河北省中南部平原地区；44 个

县市属于类型Ⅻ，主要集中在保定、邢台、邯郸和张家口，除承德外其余各市也有零星分布。比较而言，相比上一时段河北省各县市畜禽养殖承载状态明显改善。在退耕还林政策影响下，承德和唐山的农作物播种面积有所减少，而畜禽养殖量呈现增加态势，部分县市仍处于超载状态，应当引起足够重视；随着畜禽需求量的增速减缓和最严格的耕地保护政策实施，加之耕地后备资源开垦，除承德和唐山外，其他地区畜禽养殖超载县市明显减少。

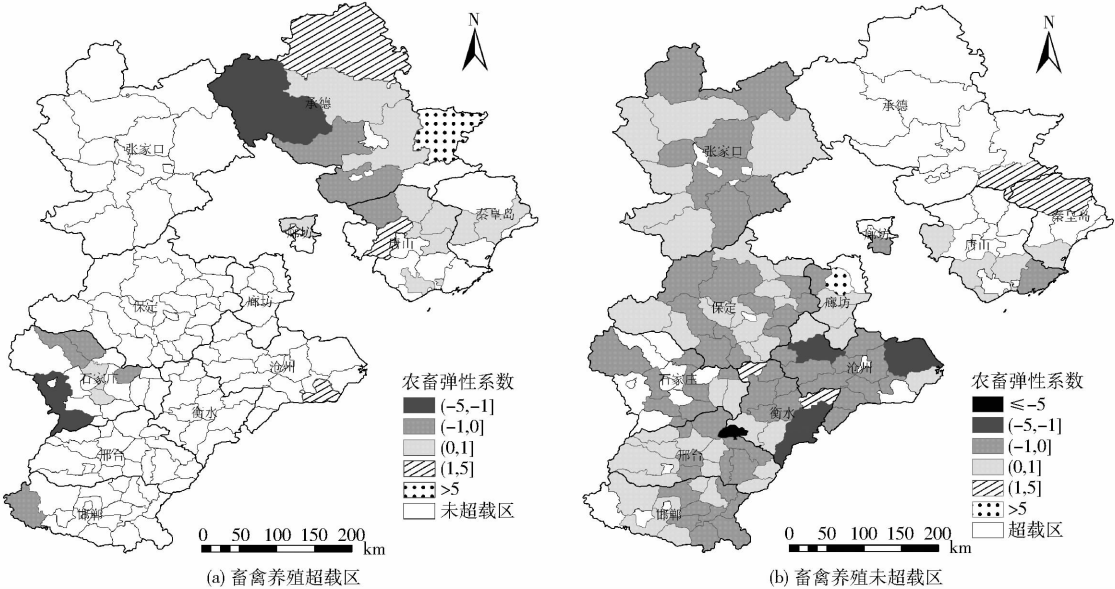


图 5 2003—2013 年河北省县域农畜弹性系数变化空间格局

Fig. 5 Changes of elastic coefficient between breeding capacity and volume of livestock and poultry in Hebei Province during 2003—2013

2.4 农畜变化耦合类型分区与调控

采用 Ward 聚类分析方法，将河北省划分为 9 个农畜变化耦合类型区（表 3 和图 6）。Ⅰ区包括围场、隆化、曹妃甸和盐山 4 个县市，畜禽养殖处于超载状态。近 20 a，该区养殖业发展迅速，畜禽养殖量占全省比重由 1994 年的 2.49% 升至 2013 年的 10.15%，已经超出了该区的农田承载能力，呈现持续衰退趋势。一方面应控制养殖规模，禁止新增、扩建畜禽养殖基地；另一方面在规模化养殖基础上，积极引入畜禽污染物处理技术，加工成有机肥，销往其他地区。Ⅱ区主要集中在石家庄，处于超载状态，研究期间建设用地侵占耕地等造成农田畜禽理论承载量降低，畜禽需求量增加等导致畜禽实际养殖量增长，呈现持续衰退特征。应积极落实两个“最严格制度”，推进永久性高标准农田建设，引导养殖业向邻近未超载县市转移。Ⅲ区主要集中在唐山、秦皇岛北部和承德南部，属于超载区域。近 20 a，该区域农用地快速减少，面临较大的畜禽污染风险。要推进废弃工矿土地复垦并严格划定生态保育区，控制畜禽养殖业规模。Ⅳ区主要包括承德大部分地区，

唐山、秦皇岛和廊坊部分县市属于超载区域，是超载区唯一一个有转好趋势的区域，需进一步按照京津冀水源涵养功能区和全国首批生态文明先行示范区要求，在水源地附近优先退出畜禽养殖产业，此外区域内应有计划的缩减养殖规模。Ⅶ区主要分布在唐山、秦皇岛和沧州沿海地区，属于未超载区域，其农用地畜禽理论承载力增长慢于畜禽实际养殖量增长，呈现转衰趋势。这一区域受北京、天津大城市畜禽产品需求量的影响，养殖量快速增长，但较大规模的农作物播种面积缓解了畜禽污染风险。然而，按此趋势发展将会超出区域畜禽承载能力，造成土壤、水体的污染。因此要按照“农畜结合、合理布局、标准化养殖、设施化处理”的思路，重点建设生猪和奶牛等标准化规模养殖场和大中型畜禽养殖场沼气工程等。Ⅷ区全部分布在张家口，属于未超载地区，呈转衰趋势。张家口市是京津冀生态涵养区，也是 2022 年冬奥会举办地，从种养循环角度存在畜禽污染风险，应加强山区生态建设，严格控制畜禽养殖规模，尤其在水源地附近区域禁止养殖畜禽。Ⅹ区主要分布在保定和衡水境内，该区域农作物播种面积

和畜禽养殖量分别占全省的 12.72% 和 4.98%。这些区域主要分布在粮食主产区,远离大都市区,农田面积呈现增长态势。畜禽承载状态处于较低水平,养殖规模有较大提升空间。因此可适当承接相邻区域养殖业转移,并在此区域推广种养结合模式,建立生态循环农业示范区。XI 区面积最大,辖 36 个县市,河北省中部地市均有分布,属于未超载地区,其农用地畜禽承载力增长,畜禽养殖量减少,呈良好态势。该区后备资源开垦和农村土地整治促进耕地增加,畜禽养殖方式从农户散养逐渐过渡到规模化养殖,役用牛、马、骡、驴大幅减少,猪、

羊、鸡等数量逐渐上升。该区畜禽养殖数量占河北省的 20.64%,虽然属于未超载地区,但人口众多、乡村发展落后,人们生态环境保护意识还比较淡薄,政府应借助建设河北省环首都现代农业科技示范带契机重点发展生态养殖、有机杂粮等特色产业,并深入推广生态文明理念。XII 区主要分布在邯郸市和邢台市,属于未超载区域。该区农作物播种面积占全省的 16.76%,养殖量只有 9.14%,使得该区域的畜禽污染风险较小,应严格保护耕地,并适当承接相邻地区畜禽养殖产业或扩大养殖规模。

表 3 1994—2013 年河北省类型区的基本特征
Tab.3 Characteristics of zones in Hebei Province during 1994—2013

类型区	I	II	III	IV	VII	VIII	X	XI	XII
县域个数	4	14	9	8	15	13	18	36	22
农作物播种面积比重/%	2.87	9.30	4.43	4.96	12.70	7.89	12.72	28.35	16.76
养殖量比重/%	10.15	13.07	10.82	10.48	12.79	7.94	4.98	20.64	9.14
承载状态	超载	超载	超载	超载	未超载	未超载	未超载	未超载	未超载

注:农作物播种面积比重和养殖量比重分别表示 2013 年该区占河北省的百分比。

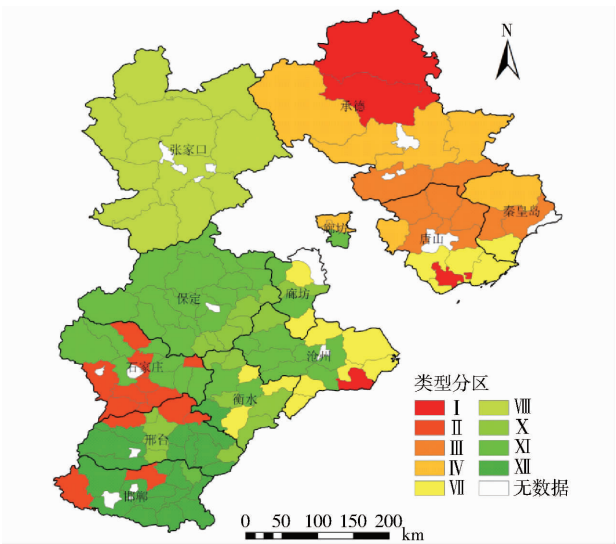


图 6 河北省县域农畜变化耦合类型分区
Fig.6 Zoning of coupling types between carrying capacity and output of livestock and poultry at county level in Hebei Province

3 讨论

由于数据获取有限,且研究时间跨度较大,《河北农村统计年鉴》部分年份统计数据存在缺失;没有计算果园面积,导致各地承载能力偏小;将各类畜禽折算成猪当量可以直接反应县域畜禽养殖总量,但其内部各类畜禽的增减无法得知,会影响针对不同畜禽处理措施的制定;此外,农田承载畜禽污染物总量还受地形地貌、土壤理化特性、利用方式(裸露

和保护地)、施肥习惯等多因素影响。随着社会经济和自然地理数据的丰富、完善,有必要针对上述问题开展深入研究。

4 结论

- (1)1994—2013 年河北省农作物播种面积总量呈现波动态势,其中,1994—2003 年山区县市农作物播种面积有所减少,平原区县市则普遍增加;2003—2013 年张家口、唐山和秦皇岛农作物播种面积减少,其余各市仍呈现增加态势。
- (2)畜禽养殖总量呈现先增加后减少的态势,南北差异显著,其中 1994—2003 年河北省中南部县市养殖量增长较快;2003—2013 年南部大部分县市呈减少态势,增长的县市主要集中在北部。
- (3)2 个时段农田畜禽承载状况存在明显差异。1994—2003 年,49.64% 的县市处于超载状态,94.24% 的县市属于生态持续衰退型和生态转衰趋势型;2003—2013 年,仅 18.7% 的县市处于超载状态,且仅 11.5% 的县市属于生态持续衰退型和生态转衰趋势型。
- (4)选取农田畜禽理论承载量变化率、畜禽实际养殖量变化率等 5 项指标,采用 Ward 聚类分析方法,将河北省划分为 9 个类型区。各类型区应当结合耦合特征、自然地理条件、地域系统功能 and 经济发展态势等主导因素,科学协调农用地与畜禽养殖规模,发展生态循环农业,促进养殖业可持续发展。

参考文献

- 1 中华人民共和国环境保护部,中华人民共和国国家统计局,中华人民共和国农业部. 第一次全国污染源普查公报[R]. 2010-02-06.
- 2 吴丹. 太湖流域畜禽养殖非点源污染控制政策的实证分析[D]. 杭州:浙江大学,2011.
- 3 武兰芳,欧阳竹. 基于农田氮磷收支的区域养殖畜禽容量分析——以山东禹城为例[J]. 农业环境科学学报,2009,28(11): 2277-2285.
WU Lanfang, OUYANG Zhu. Regional livestock density under environmental capacity based on nitrogen and phosphorus budget of farmland: a case study of Yucheng County in Shandong Province[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(11): 2277-2285. (in Chinese)
- 4 王方浩,马文奇,窦争霞,等. 中国畜禽粪便产生量估算及环境效应[J]. 中国环境科学,2006,26(5):614-617.
WANG Fanghao, MA Wenqi, DOU Zhengxia, et al. The estimation of the production amount of animal manure and its environmental effect in China[J]. China Environment Science, 2006, 26(5): 614-617. (in Chinese)
- 5 李文哲,徐名汉,李晶宇. 畜禽养殖废弃物资源化利用技术发展分析[J/OL]. 农业机械学报,2013,44(5):135-142. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20130524&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.05.024.
LI Wenzhe, XU Minghan, LI Jingyu. Prospect of resource utilization of animal faeces wastes[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5): 135-142. (in Chinese)
- 6 耿维,胡林,崔建宇,等. 中国区域畜禽粪便能源潜力及总量控制研究[J]. 农业工程学报,2013,29(1):171-179.
GENG Wei, HU Lin, CUI Jianyu, et al. Biogas energy potential for livestock manure and gross control of animal feeding in region level of China[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(1): 171-179. (in Chinese)
- 7 付强,诸云强,孙九林,等. 中国畜禽养殖的空间格局与重心曲线特征分析[J]. 地理学报,2012,67(10):1383-1398.
FU Qiang, ZHU Yunqiang, SUN Jiulin, et al. Spatial patterns and gravity centers curve of livestock and poultry breeding in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(10): 1383-1398. (in Chinese)
- 8 高定,陈同斌,刘斌,等. 我国畜禽养殖业粪便污染风险与控制策略[J]. 地理研究,2006,25(2):311-319.
GAO Ding, CHEN Tongbin, LIU Bin, et al. Releases of pollutants from poultry manure in China and recommended strategies for the pollution prevention[J]. Geographical Research, 2006, 25(2): 311-319. (in Chinese)
- 9 陈天宝,万昭军,付茂忠,等. 基于氮素循环的耕地畜禽承载能力评估模型建立与应用[J]. 农业工程学报,2012,28(2):191-195.
CHEN Tianbao, WAN Zhaojun, FU Maozhong, et al. Modeling and application of livestock supporting capacity estimation of cropland based on nitrogen cycling in southwest China[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(2): 191-195. (in Chinese)
- 10 潘瑜春,孙超,刘玉,等. 基于土地消纳粪便能力的畜禽养殖承载力[J]. 农业工程学报,2015,31(4):232-239.
PAN Yuchun, SUN Chao, LIU Yu, et al. Carrying capacity of livestock and poultry breeding based on feces disposal volume of land[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(4): 232-239. (in Chinese)
- 11 贾伟,李宇虹,陈清,等. 京郊畜禽粪便资源现状及其替代化肥潜力分析[J]. 农业工程学报,2014,30(8):156-167.
JIA Wei, LI Yuhong, CHEN Qing, et al. Analysis of nutrient resources in livestock manure excretion and its potential of fertilizers substitution in Beijing suburbs[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(8): 156-167. (in Chinese)
- 12 李书田,刘荣乐,陕红. 我国主要畜禽粪便养分含量及变化分析[J]. 农业环境科学学报,2009,28(1):179-184.
LI Shutian, LIU Rongle, SHAN Hong. Nutrient contents in main animal manures in China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(1): 179-184. (in Chinese)
- 13 李帷,李艳霞,杨明,等. 北京市畜禽养殖的空间分布特征及其粪便耕地施用的可达性[J]. 自然资源学报,2010,25(5):746-755.
LI Wei, LI Yanxia, YANG Ming, et al. Spatial distribution of livestock and poultry production and land application accessibility of animal manure in Beijing[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(5): 746-755. (in Chinese)
- 14 刘佳,王利民,杨福刚,等. 基于HJ时间序列数据的农作物种植面积估算[J]. 农业工程学报,2015,31(3):199-206.
LIU Jia, WANG Limin, YANG Fugang, et al. Remote sensing estimation of crop planting area based on HJ time-series images[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(3): 199-206. (in Chinese)
- 15 谭美英,武深树,邓云波,等. 湖南省畜禽粪便排放的时空分布特征[J]. 中国畜牧杂志,2011,47(14):43-48.
- 16 杨飞,吴根义,诸云强,等. 中国各省区未来主要畜禽养殖量及耕地氮载荷的预测[J]. 水土保持研究,2013,20(3):289-294.
YANG Fei, WU Genyi, ZHU Yunqiang, et al. Forecast of livestock and poultry amount and arable land nitrogen load of Chinese Provinces[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(3): 289-294. (in Chinese)
- 17 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所,环境保护部南京环境科学研究所. 第一次全国污染源普查——畜禽养殖业源产排污系数手册[R]. 2009-02.
- 18 董红敏,朱志平,黄宏坤,等. 畜禽养殖业产污系数和排污系数计算方法[J]. 农业工程学报,2011,27(1):303-308.
DONG Hongmin, ZHU Zhiping, HUANG Hongkun, et al. Pollutant generation coefficient and discharge coefficient in animal production[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 303-308. (in Chinese)
- 19 白明刚,马长海. 河北省畜禽粪尿污染现状分析及对策[J]. 广东农业科学,2010(2):161-164.
BAI Minggang, MA Changhai. Analysis on present conditions and strategies of livestock excrement and urine pollution in Hebei province[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2010(2): 161-164. (in Chinese)

- Journal of Hydrology, 2005, 314(1-4): 235-245.
- 5 ANDREWS J R. Time domain reflectometry (TDR) and time domain transmission (TDT) measurement fundamentals [Z]. Application Note AN-15, Picosecond Pulse Labs, Boulder, CO, 2004.
- 6 MASBRUCH K, FERRET P A. A time domain transmission method for determining the dependence of the dielectric permittivity on volumetric water content: an application to municipal landfills [J]. Vadose Zone Journal, 2003, 2(2): 186-192.
- 7 HARLOWR C, BURKE E J, FERRE P A. Measuring water content in saline sands using impulse time domain transmission techniques [J]. Vadose Zone Journal, 2003, 2(2): 433-439.
- 8 郑茹梅, 李子忠, 龚元石. 运用时域传输技术测定不同类型土壤的含水率 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 8-13.
ZHENG Rumei, LI Zizhong, GONG Yuanshi. Measurement of soil water content for different soil types by using time domain transmission technology [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 8-13. (in Chinese)
- 9 付光杰, 熊春宇. 时域传输技术(TDT)在原油含水率监测仪中的应用 [J]. 化工自动化及仪表, 2009, 36(6): 53-55.
- 10 WILL B, GERDING M. A time domain transmission method for the characterization of inhomogeneous dielectric materials [J]. Asia Pacific Microwave Conference, 2009: 409-412.
- 11 YOUNG G D, ADAMS B A, TOPP G C. A portable data collection system for simultaneous cone penerometer force and volumetric soil water content measurements [J]. Canadian Journal of Soil Science, 2000, 80(1): 23-31.
- 12 BURKE E J, HARLOW R C, FERRE T P A. Measuring the dielectric permittivity of a plant canopy and its response to changes in plant water status: an application of impulse time domain transmission [J]. Plant and Soil, 2005, 268(1): 123-133.
- 13 VARBLE J L, CHÁVEZ J L. Performance evaluation and calibration of soil water content and potential sensors for agricultural soils in eastern Colorado [J]. Agricultural Water Management, 2011, 101(1): 93-106.
- 14 POLTORADNEV M, INGWERSEN J, STRECK T. Calibration and application of aquaflex TDT soil water probes to measure the soil water dynamics of agricultural topsoil in southwest Germany [J]. Journal of Irrigation & Drainage Engineering, 2015, 141(6). DOI:10.1061/(ASCE)/R.1943-4774.0000838.
- 15 TOPP G C. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines [J]. Water Resources Research, 1980, 16(3): 574-582.
- 16 ROBINSON D A, SCHAAP M G, OR D, et al. On the effective measurement frequency of time domain reflectometry in dispersive and nonconductive dielectric materials [J]. Water Resources Research, 2005, 41(2): 199-207.
- 17 章坚武, 张数明. TDC-GP2 在激光测距传感器中的应用 [J]. 仪表技术与传感器, 2009(8): 74-76.
- 18 周立功, 张华. 深入浅出 ARM7-LPC213x/214x (上册) [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- 19 TOPP G C, LAPEN D R, EDWARDS M J, et al. Laboratory calibration, in-field validation and use of a soil penetrometer measuring cone resistance and water content [J]. Vadose Zone Journal, 2003, 2(4): 633-641.
- 20 QUINONES H, RUELLE P, NEMETH I. Comparison of three calibration procedures for TDR soil moisture sensors [J]. Irrigation and Drainage, 2003, 52(3): 203-217.

(上接第 180 页)

- 20 彭里, 王定勇. 重庆市畜禽粪便年排放量的估算研究 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 288-292.
PENG Li, WANG Dingyong. Estimation of annual quantity of total excretion from livestock and poultry in Chongqing municipality [J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1): 288-292. (in Chinese)
- 21 阎波杰, 赵春江, 潘瑜春, 等. 规模化养殖畜禽粪便量估算及环境影响研究 [J]. 中国环境科学, 2009, 29(7): 733-737.
YAN Bojie, ZHAO Chunjiang, PAN Yuchun, et al. Estimation of the amount of livestock manure and its environmental influence of large-scaled culture based on spatial information [J]. China Environmental Science, 2009, 29(7): 733-737. (in Chinese)
- 22 杨飞, 杨世琦, 诸云强, 等. 中国近 30 年畜禽养殖量及其耕地氮污染负荷分析 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 1-11.
YANG Fei, YANG Shiqi, ZHU Yunqiang, et al. Analysis on livestock and poultry production and nitrogen pollution load of cultivated land during last 30 years in China [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(5): 1-11. (in Chinese)
- 23 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策 [J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6.
ZHU Zhaoliang. Loss of fertilizer N from plants-soil system and the strategies and techniques for its reduction [J]. Soil and Environmental Sciences, 2000, 9(1): 1-6. (in Chinese)
- 24 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 [J]. 地理学报, 2010, 65(12): 1602-1612.
LIU Yansui, LI Yurui. Spatio-temporal coupling relationship between farmland and agricultural labor changes at county level in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(12): 1602-1612. (in Chinese)
- 25 马礼, 唐毅, 牛东宇. 北方农牧交错带耕地面积变化驱动力研究——以沽源县近 15 年为例 [J]. 人文地理, 2008(5): 17-21.
MA Li, TANG Yi, NIU Dongyu. Driving forces of cultivated land change in transitional area between pastoral and agricultural—a case of cultivated land change of Guyuan County in the last 15 years [J]. Human Geography, 2008(5): 17-21. (in Chinese)
- 26 田玉军, 李秀彬, 马国霞. 耕地和劳动力禀赋对农村劳动力外出务工影响的实证分析——以宁夏南部山区为例 [J]. 资源科学, 2010, 32(11): 2160-2164.
TIAN Yujun, LI Xiubin, MA Guoxia. Impacts of household labor and land endowment on rural-to-urban labor migration: a case study on mountainous areas of southern Ningxia [J]. Resources Science, 2010, 32(11): 2160-2164. (in Chinese)