

北方农牧交错区不同农牧用地格局下的可持续发展研究 ——以内蒙古通辽市为例

徐冬平^{1,2,3}, 李同昇¹, 薛小杰^{2,3}, 朱记伟^{2,3}

(1. 西北大学 城市与环境学院, 西安 710127; 2. 西安理工大学 土木建筑工程学院,
西安 710048; 3. 西北旱区生态水利工程国家重点实验室, 西安 710048)

摘 要:为了更好地实现北方农牧交错地区的可持续发展,以通辽市为例,对影响农牧交错地区可持续发展的关键问题——农牧用地格局问题进行了科学的预测与评估,进而提出适宜农牧交错地区可持续发展的农牧发展格局。在分析国内关于农牧交错区可持续发展研究成果的基础上,遴选了系统动力学可适性强的可持续发展评价指标,利用AHP法确定指标权重,进一步运行系统动力学模型,得到通辽市不同农牧发展格局下的仿真结果,运用综合评价模型对其结果进行评价和优选。研究认为,农牧用地比例关系是制约农牧交错地区可持续发展的关键性问题,就通辽市而言“牧业主导发展格局”为其可持续发展的最佳格局,但不是目前最适合的发展格局;建议近期采用“农牧均衡发展格局”,远期采用“牧业优化发展格局”。文章不仅提出了支撑通辽市可持续发展农牧发展格局,而且为农牧交错区的可持续发展提供了有益的理论研究。

关键词:北方农牧交错区; 农牧格局; 可持续发展; 通辽市; 系统动力学; AHP法

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)01-0219-07

Research on Sustainable Development of Different Agricultural and Pastoral Land Use Patterns in Northern Farming-pasturing Interlaced Areas —Taking Tongliao City of Inner Mongolia as an Example

XU Dongping^{1,2,3}, LI Tongsheng¹, XUE Xiaojie^{2,3}, ZHU Jiwei^{2,3}

(1. College of Urban and Environment Science, Northwest University, Xi'an 710127, China;

2. School of Civil Engineering and Architecture, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

3. State Key Laboratory of Ecological Water Conservancy in the Northwest Arid Area, Xi'an 710048, China)

Abstract: To better achieve sustainable development in northern farming-pasturing interlaced areas, Tongliao City was taken as a case to discuss scientific evaluation and predict the agricultural and pastoral land use pattern which is the key issue affecting sustainable development of farming-pasturing interlaced areas. An appropriate farming-pasturing development model for promoting sustainable development in farming-pasturing interlaced areas was presented. After an analysis of the research results on sustainable development in farming-pasturing interlaced areas in China, evaluation indexes which are highly applicable in system dynamics were selected, and analytic hierarchy process was adopted to determine the weight of each index. Moreover, the model of system dynamics was operated to get simulation results of Tongliao City under different agricultural and pastoral development patterns, and the comprehensive evaluation model was used to evaluate and select the simulation results. Following conclusions are drawn. The proportional relation of the agricultural and pastoral land use is the key issue affecting sustainable development of farming-pasturing interlaced areas. For Tongliao, the ‘pasture-dominant development pattern’ is the best one for its sustainable development, but not the most suitable one in the present situation. Lastly, we also recommend that Tongliao should adopt the ‘farming-pasturing balanced development pattern’ in the short term, and the ‘pasture optimized develop-

收稿日期: 2016-06-09

修回日期: 2016-07-07

资助项目: 水利部公益项目“半干旱区水循环与水生态安全关键技术研究”(201501031); 国家自然科学基金“面向生态城市的水土资源利用格局变化机制及适应性调控研究”(51479160)

第一作者: 徐冬平(1978—), 男, 吉林松原人, 博士生, 讲师, 研究方向: 区域经济与可持续发展。E-mail: 379821411@qq.com

ment pattern’ in the long term. Through this research, we not only put forward a development pattern supporting sustainable development of Tongliao City, but also provides a useful theoretical basis for sustainable development of farming-pasturing interlaced areas.

Keywords: farming-pasturing interlaced areas; agriculture and animal husbandry patter; sustainable development; Tongliao City; system dynamics; analytic hierarchy process

北方农牧交错地区是典型的生态脆弱区,是我国生态安全的重要屏障^[1]。自 20 世纪 80 年代以来的农业现代化开发导致北方农牧交错地区的社会、经济、生态关系发生了天翻地覆的变化,以灌溉农业为主导产业的发展模式致使区域土地利用格局演变成为一种不可持续的状态,进而衍生出一系列的生态安全问题:农牧业发展失衡,地下水位下降、地表水枯竭、草原萎缩、沙地裸露,使之成为沙尘暴等气象灾害的策源地,直接威胁到我国北方广大地区特别是首都经济圈的生态安全。农牧交错地区的脆弱性,决定了区域可持续发展是要以均衡的农牧发展格局为前提,失衡的农牧用地比例关系,导致过多的水资源(平均 75%左右)消耗在生产效率较低的灌溉农业生产部门,这一方面限制了二、三产业的发展和生活条件的改善,另一方面严重破坏了地区的水生态环境^[2],考虑到生态环境退化的代价,过度开发农牧交错区得不偿失。但是在 20 世纪 80 年代国内外发展环境和可持续发展意识不高的情况下,实属无奈之举。时至今日,我国经济建设的成就突飞猛进,粮食问题已经不是困扰我国发展的障碍,而农牧交错区生态环境问题凸显,在这种情况下合理确定农牧交错地区农、牧业用地的比例格局,确保水资源在社会经济各部门内合理配置,就成为促进地区可持续发展的重要科学问题。

当前,农牧交错地区的可持续发展问题是研究的热点问题,部分学者对影响农牧交错地区脆弱性与可持续发展的关系进行了研究,许尔琪等^[3]评价了农牧交错区县域单元土地利用的生态脆弱与可持续性问题;王秀红等^[4]认为农业过度开发是造成农牧交错地区生态退化的根源,生态退耕是提升其可持续性的有效手段;胡兵辉等^[5]对北方农牧交错区的生态脆弱性与可持续发展社会结构和发展战略进行了细致研究。影响农牧交错地区可持续发展的因素众多,部分学者从水资源的承载力角度切入进行研究,张军涛等^[6]认为水资源与环境状况是影响区域可持续发展的关键

因素,并以阜新、通辽、赤峰等典型地进行印证;龙胤慧等^[7]以承载能力分析模型、模糊评价法、地理信息系统分析等方法对农牧交错区水资源与可持续发展关系进行研究,表明典型草原区生态系统可持续发展的关键是水资源承载能力的强弱。土地资源的有效利用也是影响农牧交错地区可持续发展的关键,齐跃普等^[8]对制约农牧交错地区农村可持续导致的因素开展了研究;金鑫^[9]对农地利用强度与发展潜力进行了分析。另有学者认为水、土地资源的相互影响、相互制约对农牧地区的可持续发展起着重要的影响,马吉巍等^[10]利用水土资源复杂适应性配置模型,并推演了三江平原不同地下水开采方案下的农业水土资源优化配置格局;郑久瑜等^[11]构建了农业水土资源匹配测算模型,并对河套灌区的农业水土资源匹配程度进行了评价。

诸多研究成果表明,农牧交错地区的可持续发展这一问题较为重要,关系到农牧交错地区的和谐发展,并影响我国大部分地区的生态安全和经济发展。综合研究发现,农、牧用地的比例关系在农牧交错地区的可持续发展中起到重要的影响作用,而学者们在目前的研究中鲜有涉及,因此,本文以通辽市为农牧交错地区的典型,利用系统动力学与 AHP 法相结合,研究不同农、牧发展格局下的通辽市可持续发展状态,旨在提升通辽市可持续发展能力,并丰富广大农牧交错地区可持续发展的理论和实践。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

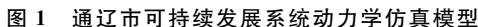
通辽市的社会、经济、生态等发展状态与北方农牧交错地区类似程度较高,具有农牧交错地区的典型特征,是农牧交错地区的典型代表,这主要体现在人口密度、城镇化率、人均 GDP、产业结构、二产增长速度、农业用水比例、农业用水效率、总用水效率、生态用水比例等指标上,见表 1。

表 1 通辽市与北方农牧交错区社会经济发展对比表

区域	人口密度/ (人·km ⁻²)	城镇 化率/%	人均 GDP/ (万元/人)	产业 结构	二产增长 速度/%	农业用水 比例/%	农业用水效率/ (元·m ⁻³)	总用水效率/ (元·m ⁻³)	生态用水 比例/%
通辽市	55	38	5.7	14:58:28	8.7	85	10.8	63.4	36
北方农牧交错区	121	39	2.54	13:59:28	8.5	76	9.8	67.5	32

地下水为通辽市的主要可利用水资源,其综合利用程度决定通辽市可持续发展程度,既有资料表明目前通辽市地下水资源已呈超采状态,地下水生态环境已经遭到了不同程度的破坏。水资源利用效率是决定水资源利用度的关键因素,2013年,通辽综合用水效率为63.58元/m³,远低于国家平均水平,表明通辽市水资源综合利用程度较低。影响通辽市综合用水效率的关键问题是农业生产水耗过高,2013年,通

1.2.2 系统动力学仿真 本文以 Vensim DSS 为仿真平台,建立具有区域性、动态性、有限性等特点的通辽市可持续发展系统动力学模型,模型主要包括社会发展子系统、经济发展子系统、水资源支撑子系统、生态环境子系统等子系统,其中各级子系统嵌套次一级系统,如社会发展子系统中嵌套城镇发展子系统、乡村发展子系统等,图 1 详细描述了系统动力学模型结构。



渡地带,是种植农业生产方式逐步替代畜牧生产方式的过程,景观上主要表现为牧业景观逐渐演变为农业

景观。农牧交错区的发展历史只有 3 000 多年,真正的垦殖农业大发展始于 20 世纪 70 年代^[17],农牧交错区演变成为以农业生产为主的半农半牧区,受到水资源的限制,大量的农业垦殖并没有带来很好的经济效益,反而引起了严重的生态环境问题^[18]。已有研究表明^[19],当农牧交错地区种植业生产用地接近 50%时,生态环境已经开始遭到比较严重的破坏,逼近农牧交错地区能够承受种植业发展的极限。

本文以农牧交错区农业生产的极限(农牧用地比 1:1)为“农业主导发展格局”,并依次降低农业用地的比例来设计通辽市社会经济发展农牧用地布局的情景模式,主要为“农业主导发展格局”、“农业适度发展格局”、“农牧均衡发展格局”、“牧业优化发展格局”、“牧业主导发展格局”。(1) 农业主导发展格局:采取“高效、节水”的种植业主导的发展战略,加大水田的改造力度,并不断提高现代化节水农业的比例,调节牧业用地比例,至 2030 年农、牧用地比例调整为 1:1;(2) 农业适度发展格局:采取“适农兼牧、农优牧辅”的发展战略,合理甄别、改造高产种植业用地,优先发展种植,并辅以畜牧业发展,至 2030 年农、牧用地比例调整为 1:3,当前通辽市的农牧发展格局即此种发展格局;(3) 农牧均衡发展格局:采取“农牧双优”的发展战略,开展“退耕还草”工作,逐渐退耕低产、低效的农业用地,优化畜牧业生产,至 2030 年农、牧用地比例调整为 1:5;(4) 牧业优化发展格局:采取“优牧抑农”的发展战略,精简农业生产用地,将大量中、低产耕地退耕还草,降低农业用地比例,优先发

展畜牧业,至 2030 年农、牧用地比例调整为 1:7;(5) 牧业主导发展格局:采取“牧主农辅”的发展战略,以畜牧业为大农业生产的主导方向,辅以种植业发展,至 2030 年农、牧用地比例调整为 1:9。由于不同的农牧用地格局对区域水资源需求不同,农业用地比例较大的发展模式对区域水资源压力较大,而畜牧业占优的发展模式对区域水资源需求压力较小,区域能够调剂更多的水资源配置到高效的生产部门,如二、三产业,提高水资源的综合效率,或者配置生态环境用水,改善生态环境,进而实现区域的可持续发展。

1.2.4 可持续发展评价指标 农牧交错地区的可持续发展系统是由不同层次、交互影响的要素集合构成的复杂的、动态的巨系统。建立可持续发展评价体系,有利于决策者在不同层次上对农牧交错地区的可持续发展进行综合评价和调控。根据农牧交错地区可持续发展的运行机制及指标体系构建的全面性与概括性、系统性与层次性、动态性与静态性相结合的原则,将通辽市可持续发展的评价指标分为评价目标层、评价子系统层和评价指标层构成的评价体系,并利用 AHP 法对各指标进行权重赋值,具体方法详见参考文献[20]。综合考虑系统动力学模型输出结果的可获得性、因果关系的影响,建立通辽市社会经济系统的可持续发展指标体系,侧重水资源的支撑能力以及农牧发展格局的影响,主要指标包括城镇化率、GDP 总量、GDP 增速、产业结构、人均 GDP、总需水量、缺水度、用水综合效率、生态水量、生态环境用地占比、人均环境用地、人均生态水量等指标,详见表 2。

表 2 通辽市可持续发展评价指标体系

评价目标	权重	评价子系统	权重	评价指标	单位	权重	方向性
可持续发展水平	1	社会发展子系统	0.1825	城镇化率	%	0.1825	正
		经济发展系统	0.3123	GDP 总量	亿元	0.0632	正
				GDP 增速	%	0.0895	正
				产业结构	—	0.0779	正
				人均 GDP	万元/人	0.0817	正
		水资源子系统	0.3061	总需水量	亿 m ³	0.0907	负
				缺水度	%	0.0802	负
				生态水量	亿 m ³	0.0601	正
				用水综合效率	元/m ³	0.0751	正
		生态环境子系统	0.1991	生态环境用地占比	%	0.0674	正
				人均环境用地	hm ² /人	0.0634	正
				人均生态水量	m ³ /人	0.0683	正

注:在对产业结构进行数据分析时,分别将一、二、三产业所占比例作为分值进行评价,其中第一产业方向性为负,二、三产业方向性为正,三次产业均分产业结构的权重。

2 结果与分析

2.1 仿真结果

由于社会经济发展的复杂性、动态性和突变性

特征^[21],系统动力学模拟仿真不宜在较长时间序列上进行仿真研究,10~20 a 的仿真时长能够较准确地反映社会经济的发展趋势^[22]。本文设定 2014—2030 年为模拟区间,运行系统动力学模型,分别得到

通辽市社会经济系统 2014—2030 年各评价指标的系统动力学仿真结果,图 2A—F 展示出 2015 年、2020

年、2025 年、2030 年等 4 个特征年的部分指标的仿真结果。

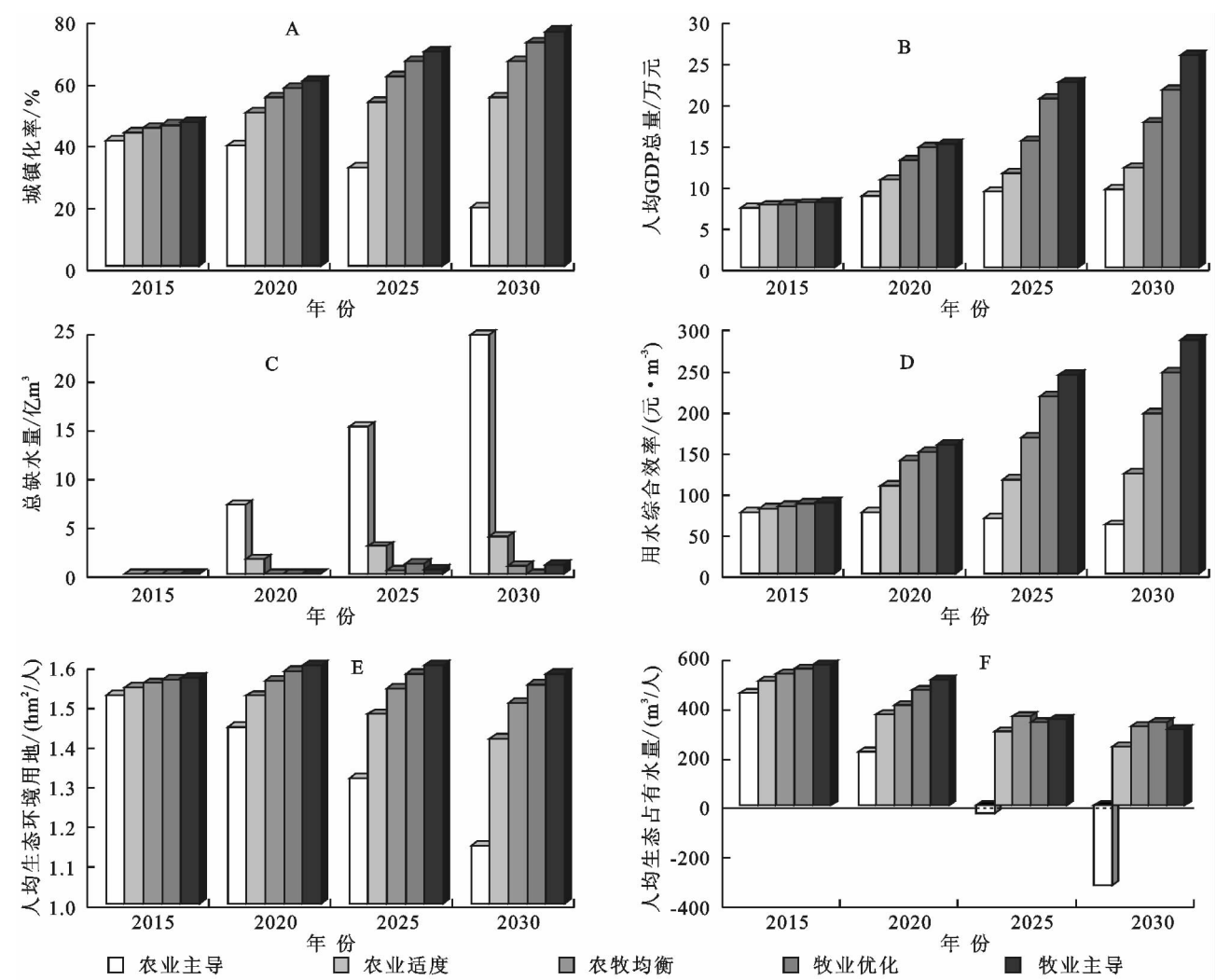


图 2 通辽市社会经济系统动力学仿真结果

2.2 结果与分析

由于仿真结果数据量巨大,本文仅以代表性的指标从社会、经济、水资源和生态 4 个方面的部分指标对运行结果进行展示和分析,见图 2。城镇化率是区域社会发展水平的标志,图 2A 表明通辽市社会发展水平总体在提高,提高的速率明显呈“牧业主导发展格局”至“农业主导发展格局”依次加快的趋势,由于“牧业主导发展格局”中处于主导地位的牧业生产劳动力需求水平较种植业低,促进大量剩余劳动力进城工作,加速了城镇化进程,而“农业主导发展格局”以劳动密集的种植业产业为主,劳动力需求不断增加,迟滞了城镇化进程。经济发展速度是区域发展程度的外在表征,图 2B 表明人均 GDP 在整体增加的同时,增速也从“农业主导发展格局”至“牧业主导发展格局”逐次提升,这主要是由于牧业主导发展格局节约了大量的水资源和劳动力资源,这为发展经济效率较高的二、三产业提供了水资源和人力资源,也为通辽市经济的大发展奠定了良好的基础。水资源系统是农牧交错地区发

展决定性的支撑系统,图 2C 表明在设计 5 种发展模式,“农业主导发展格局”和“农业适度发展格局”的缺水最大,其中“农业主导发展格局”的缺水基本相当于通辽可利用水资源总量(31 亿 m³),说明水资源系统对“农业主导发展格局”支撑能力远远不足;图 2D 表明水资源的综合利用效率在提升,提升幅度由“牧业主导发展格局”至“农业主导发展格局”依次加大,表明牧业主导发展格局的水资源支撑能力迅速提高。生态系统是区域可持续发展的基质因素,它的优劣决定区域可持续发展的质量,图 2E、F 表明通辽市生态环境从“牧业主导发展格局”至“农业主导发展格局”发生了质的改变,值得一提的是“农业主导发展格局”的人均水资源占有量呈负值,表明过度发展灌溉农业使得区域生态环境已无水可用,生态环境质量令人堪忧。

2.3 方案优选

利用参考文献[20]的方法,对系统动力学仿真结果进行综合评价,得到通辽市 2014—2030 年的可持续发展动态评价结果,见表 3。

表 3 2014—2030 年通辽市基于 SD 仿真结果的可持续发展动态评价

项目	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
农业主导格局	53.44	52.55	54.67	51.29	48.01	47.31	47.22	51.51	51.62	48.98	52.21	51.90	50.87	52.25	44.12	42.71	41.65
农业适度格局	58.06	59.45	68.67	73.48	72.26	63.56	61.95	61.78	59.30	63.28	59.58	65.88	70.65	73.80	66.62	67.66	75.87
农牧均衡格局	62.24	62.50	68.59	83.92	82.20	84.42	81.71	83.99	71.25	75.29	75.99	77.87	84.82	85.09	76.02	85.47	85.81
牧业优化格局	66.29	65.94	74.56	92.62	92.69	89.80	92.98	91.17	93.33	91.30	84.49	90.47	91.61	91.20	83.64	81.75	90.38
牧业主导格局	68.54	68.54	76.56	97.84	97.60	96.49	97.46	96.45	97.42	95.42	95.40	95.70	96.89	94.25	94.81	92.26	94.78

将动态评价结果取平均值,从农业主导格局到农业主导格局其平均值分别为 49.4,65.76,77.67,85.63,90.97,表明在 2014—2030 年期间内各仿真情景的优劣情形如下:农业主导发展格局<农业适度发展格局<农牧均衡发展格局<牧业优化发展格局<牧业主导发展格局。因此,通辽市理想的农牧发展格局为牧业主导发展格局。依据钱纳里标准产业结构和工业化阶段理论,通辽市的社会经济发展已进入中级发展阶段,还需要较长时间对社会经济发展状态进行巩固,这个阶段的工业发展基础比较薄弱,产业工人、技术累计、生产效率、人文素质、城镇化水平等方面仍然不发达。系统动力学仿真结果表明,“牧业主导发展格局”已经具备高级阶段的特征,鉴于发展基础比较薄弱,虽然“牧业主导发展格局”从可持续发展指标上看是最佳模式,但还不宜直接采用。从目前通辽市工业发展比较滞后全国发展状况,结合系统动力学仿真模拟结果,本文认为近期,即 2014—2020 年,通辽市宜采取“农牧均衡发展格局”,因为此格局的发展条件略高于目前通辽市的经济发展水平,易于实现;中远期,即 2021—2030 年,在工业经济具备一定的积累后,逐渐采取“牧业优化的发展模式”,逐渐提高通辽市的经济社会和生态的可持续发展程度。

3 结 论

(1) 综合研究结果表明,水资源是制约农牧交错地区可持续发展的关键要素,而农牧发展格局是决定农牧交错区水资源在各生产部门配置的重要载体,合理的农牧发展格局能够优化水资源配置,进而促进地区的可持续发展;反之,则会迟滞社会经济的协调发展,甚至带来生态环境的严重恶化,形成恶性循环。由于农牧交错区在我国跨度甚广,因此不同地区的农牧发展格局需要区别化研究。在同类研究较为薄弱的背景下,本文以通辽市为农牧交错地区的典型代表,抛砖引玉地提出农牧交错地区可持续发展的 5 种农牧发展格局,即农业主导发展格局、农业适度发展格局、农牧均衡发展格局、牧业优化发展格局、牧业主导发展格局,为农牧交错地区的可持续发展奠定理论基础。

(2) 为深刻描述所提出 5 种发展模式的运行状

态,本文建立了通辽市可持续发展的评价指标体系及系统动力学模型,对 2014—2030 年 5 种发展模式的发展状态进行仿真研究,并将其结果运用综合评价法进行优选评价,优选结果认为通辽市目前的农牧发展格局呈不可持续特征,也不宜采取评价结果最优的“牧业主导发展格局”,近远期应逐渐实现由“农牧均衡发展格局”向“牧业优化发展格局”的过渡,进而实现通辽市的可持续发展。通辽实例表明,对于处于不同发展条件和发展阶段的广大农牧交错地区,应深入分析各地区的实际发展条件,合理优选适合本地地区的农牧发展模式,防止出现违背经济社会规律的跨越式发展,欲速则不达。

(3) 水资源是半干旱的农牧交错地区协调发展的制约性资源,本文以农牧发展格局为切入点研究水资源在农牧交错地区各生产部门的配置关系,利用系统动力学仿真研究方法深入探寻促进农牧交错地区可持续发展的农牧发展模式,具有一定的创新性和预见性。同时,区域的可持续发展受多方面因素影响,系统动力学仿真模型虽然已经较全面地涵盖了社会经济发展的各个方面,但仍然不能 100%进行仿真模拟,仍有部分情形无法预见,如突发事件的影响、生产技术更新带来的突变等,这些是系统的缺陷,目前仍无法突破。

(4) 优化北方农牧交错区的用地发展格局在宏观上指导区域的可持续发展具有重要的战略指导意义,为中观尺度市级区域的农牧综合发展调控奠定了理论基础。本研究在微观尺度上指导县一级的农牧发展格局还具有一定的局限性,就通辽市而言,未来应开展有关各乡镇(苏木)的农牧发展可适性的综合研究,自下而上地研究各旗县有利于可持续发展的农牧发展格局,进一步整合到市级尺度,使得本研究能够在具体实践中达到支撑通辽市可持续发展的目的。

参考文献:

[1] 刘洪来,王艺萌,窦潇. 农牧交错带研究进展[J]. 生态学报,2009,29(8):4420-4425.

[2] 刘明. 农业产业化:理论依据与可持续发展分析[J]. 生产力研究,2015,(5):38-45.

[3] 许尔琪,张红旗. 中国生态脆弱区土地可持续利用评价研究[J]. 中国农业资源与区划,2012,33(3):1-6.

[4] Xiuhong WANG, Jianxiu SHEN. Suatrainability Analysis of Cropland Use in Cropping-Pastoral Ecotone before and after the Grain-for-Green Policy: A Case Study from Yanchi County in Ningxia[J]. Agricultural Science & Technology, 2013,14(1):88-93.

[5] 胡兵辉,廖允成,王克勤等. 北方农牧交错带县域典型农业生态系统结构的对比演变[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2):35-39.

[6] 张军涛,傅小锋. 东北农牧交错生态脆弱区可持续发展研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2005,15(5):58-62.

[7] 龙胤慧,郭中小,廖梓龙等. 典型草原区水资源承载能力评价方法研究[J]. 水土保持研究, 2014,21(3):222-226.

[8] 齐跃普,崔永清,李新旺. 通辽北部农牧交错生态脆弱区农地利用强度与潜力分析[J]. 自然资源学报, 2010,25(12):2072-2080.

[9] 金鑫. 农牧交错生态脆弱区农村可持续发展制约因素分析:以通辽市为例[J]. 前沿, 2013(22):77-79.

[10] 马吉巍,郭翔宇,付强等. 区域农业水土资源复杂适应系统配置研究:以三江平原为例[J]. 水土保持研究, 2014,21(3):256-260.

[11] 郑久瑜,赵西宁,操信春等. 河套灌区农业水土资源时空匹配格局研究[J]. 水土保持研究, 2015,22(3):132-136.

[12] 丁日佳,刘娜. 基于层次分析法的煤矿可持续发展研究[J]. 煤炭技术, 2014,33(9):31-33.

[13] 刘晓君,付汉良. 基于变权信息熵改进 TOPSIS 法的水资源承载力评价[J]. 水土保持通报, 2015,35(6):34-39.

[14] 桓颖,张文静,王楠. 基于主成分分析的吉林西部地区农业水资源承载力评价[J]. 长江科学院院报, 2014,31(9):11-16.

[15] De W M, Crookes D J. Improved Decision-making on Irrigation Farming in Arid Zones Using a System Dynamics Model[J]. South African Journal of Science, 2013,109(11/12):1-8.

[16] 赵松乔. 察北、察盟及锡盟:一个农牧过渡地区经济地理调查[J]. 地理学报, 1953,19(1):43-60.

[17] 杨志荣,索秀芬. 我国北方农牧交错带人类活动与环境的关系[J]. 北京师范大学学报:自然科学版, 1996,32(3):415-420.

[18] 白淑英,张树文,张养贞. 农牧交错区 50 年来耕地开发过程及其驱动因素分析:以大庆市杜尔伯特蒙古族自治县为例[J]. 资源科学, 2005,27(2):71-76.

[19] 孙芳,郭英立. 高寒半干旱农牧交错带退耕还草与畜牧业发展研究:以河北省张家口坝上地区为例[J]. 河北北方学院学报:自然科学版, 2006,22(6):45-49.

[20] 杨东,杨秀琴. 区域可持续发展定量评估方法及其应用[J]. 西北师范大学学报:自然科学版, 2001,37(1):83-88.

[21] 王其藩. 系统动力学[M]. 上海:上海财经大学出版社, 2009.

[22] Saeed, Khalid. The Dynamics of Economic Growth and Political Instability in the Developing Countries[J]. System Dynamics Review, 1986,2(1):20-35.

(上接第 218 页)

[16] 王千,金晓斌,周寅康. 江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制[J]. 生态学报, 2011,31(20):5903-5909.

[17] 曲福田,吴郁玲. 土地市场发育与土地利用集约度的理论与实证研究[J]. 自然资源学报, 2007,22(3):445-454.

[18] 叶正伟. 江苏沿海开发地区近 50 年来降水演变特征与趋势[J]. 水土保持研究, 2015,22(1):176-180.

[19] Huang Y, Nian P, Zhang W. The prediction of interregional land use differences in Beijing:a Markov model[J]. Environmental Earth Sciences, 2015,73(8):4077-4090.

[20] Wu C D, Cheng C C, Lo H C, et al. Application of SEBAL and Markov models for future stream flow simulation through remote sensing [J]. Water Resources Management, 2010,24(14):3773-3797.

[21] Ma C, Zhang G Y, Zhang X C, et al. Application of Markov model in wetland change dynamics in Tianjin Coastal Area, China[J]. Procedia Environmental Sciences, 2012,13(3):252-262.

[22] 韩玲玲,何政伟,唐菊兴,等. 基于 CA 的城市增长与土地增值动态模拟方法探讨[J]. 地理与地理信息科学, 2003,19(2):32-35.

[23] 王东辉,张利权,管玉娟. 基于 CA 模型的上海九段沙互花米草和芦苇种群扩散动态[J]. 应用生态学报, 2007,18(12):2807-2813.

[24] Bormann H, Breuer L, Gräff T, et al. Analysing the effects of soil properties changes associated with land use changes on the simulated water balance: A comparison of three hydrological catchment models for scenario analysis[J]. Ecological Modelling, 2007,209(1):29-40.

[25] 刘波,肖子牛. 澜沧江流域 1951—2008 年气候变化和 2010—2099 年不同情景下模式预估结果分析[J]. 气候变化研究进展, 2010,6(3):170-174.

[26] 凌成星,鞠洪波,张怀清,等. 基于 CA-MARKOV 模型的北京湿地资源变化预测研究[J]. 中国农学通报, 2012,28(20):262-269.

[27] 谢薇,史峻. 江苏沿海开发战略实施中的土地利用问题及对策[J]. 江苏农业科学, 2012,40(10):350-353.

[28] 张杰,周寅康,李仁强,等. 土地利用/覆盖变化空间直观模拟精度检验与不确定性分析:以北京都市区为例[J]. 中国科学:D 辑, 2009(11):1560-1569.