

孟梅,崔雪莹,王志强. 低碳视角下乌鲁木齐市土地利用结构优化研究[J]. 江苏农业科学,2019,47(19):261-265.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.19.059

低碳视角下乌鲁木齐市土地利用结构优化研究

孟梅,崔雪莹,王志强

(新疆农业大学管理学院,新疆乌鲁木齐 830052)

摘要:以新疆乌鲁木齐市为研究区域,基于碳减排目标建立多目标规划模型,以土地利用经济效益、土地利用碳排放和土地利用生态效益为目标函数,得到2020年乌鲁木齐市土地利用结构优化方案,并将优化方案与规划方案进行对比分析。研究结果,优化后的耕地、园地、林地、草地、水域和未利用地面积有所增加,建设用地面积有所减少;与规划方案相比,优化方案中碳排放量减少184.57万t,土地利用生态效益增加6.93亿元,虽然土地利用经济效益较规划方案减少了,但符合当前中高速增长的经济增长规律。研究结果表明,以土地利用经济效益最大化、碳排放最小化和生态效益最大化作为目标的土地利用结构优化方案在保证经济平稳增长的同时,有效地实现碳减排,并且有助于土地利用生态效益的提高,对今后乌鲁木齐市的土地利用有一定的指导意义。

关键词:土地利用结构;碳排放;多目标规划模型;乌鲁木齐市

中图分类号:F301.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)19-0261-04

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的第四次报告中以坚定的口吻确认了全球变暖与人类活动之间的关系。报告称人类活动引起大气中CO₂、CH₄的浓度增加,导致了全球平均气温的升高^[1]。温室效应的加剧,引发了诸多环境问题。因此,有计划地控制温室气体排放是各国解决气候变暖问题的共同选择。我国作为温室气体排放大国,“低碳发展”正成为制定经济和能源发展战略时要考虑的核心因素。土地是一种重要的生产要素,也是社会经济空间载体,土地兼具了碳汇及碳源的双重作用。但事实上大多数土地利用都导致了碳排放的增加,如建设用地扩张、林地减少、草地开垦等。土地作为陆地生态系统碳循环的自然载体和人类活动碳排放的空间载体,土地利用的结构在一定程度上反映了碳排放的结构,随着土地利用结构的调整,碳排放效应不断发生改变。因此,在低碳导向下,如何通过调整土地利用结构,优化配置和合理利用土地资源,使在降低土地利用碳排放的同时,实现土地利用整体效益最优化的目标,成为土地利用调控的新课题。

近年来,众多学者开展了土地利用与碳排放间的相关研究,尤其是如何通过优化调整土地利用结构从而降低碳排放,实现土地利用整体效益最优化的目标,成为土地利用调控的新课题。李国敏提出要城市、经济和环境联系成一个有机整体,从减排和增汇2个方面着手,对土地利用结构优化形成城市土地的低碳利用^[2];赵荣钦等对城市土地利用的碳排放效应进行了研究,提出低碳高密度紧凑型的城市土地低碳利用格局^[3];毋晓蕾等针对河南省淅川县实际情况,利用以经

济效益最大化和土地利用总碳排放量最小化为双重目标的低碳型土地利用结构优化模型获得优化方案^[4]。然而,目前研究层面多以国家或省级为主,对于市域层面的研究还相对较少,尤其对于西北地区,目前还没有涉及低碳目标下的土地利用结构优化研究。基于此,笔者选取西北部新疆乌鲁木齐市作为研究区域,尝试从经济效益最大化、碳排放最小化和生态效益最大化3个方面出发,构建多目标线性规划模型,探寻土地利用结构优化新途径。

1 材料与方法

1.1 研究区概况与数据来源

乌鲁木齐市是新疆的政治、经济、文化、信息、科技中心,是我国向西开放的重要门户,同时也是“一带一路”丝绸之路核心区。乌鲁木齐深处亚欧大陆腹地,远离海洋,属于大陆干旱气候区,降水少,温差大,年平均降水量为294 mm,年均气温为7.3℃。乌鲁木齐市三面环山,北部平原开阔,平均海拔为800 m。乌鲁木齐市现辖七区一县,面积为1.39万km²,常住人口351.96万人。乌鲁木齐市有着非常丰富的矿产资源,故被称为“煤海上的城市”。近年来,随着国家深入实施西部大开发战略,中央出台了一系列针对新疆开发建设的优惠政策,这些政策有力地支持了乌鲁木齐的加快发展。2015年,乌鲁木齐市实现生产总值(GDP)2 631.64亿元,同比增长了10.5%,人均地区生产总值74 340元,高于全国平均水平。2014年,乌鲁木齐市成功申报成为第三批国家节能减排财政政策综合示范城市,国家给予节能减排典型示范项目大力支持,这对乌鲁木齐市既是机遇也是挑战,乌鲁木齐市必须更加重视节能减排建设,优化能源供需结构,实现生态保护与经济发展的同步发展。

本研究构建的多目标线性规划模型中,所用土地利用结构数据主要来源于《乌鲁木齐市土地利用总体规划(2006—2020年)》《新疆国土资源综合统计资料册》和乌鲁木齐市土地利用变更调查资料;参考的能源消耗数据和社会经济数据

收稿日期:2018-08-06

基金项目:国家自然科学基金(编号:71663052)。

作者简介:孟梅(1984—),女,新疆乌鲁木齐人,博士,副教授,主要研究方向为土地资源管理、公共管理与公共政策。E-mail:785161662@qq.com。

通信作者:崔雪莹,硕士研究生,主要研究方向为土地资源管理。E-mail:495986700@qq.com。

主要来源于乌鲁木齐市历年统计年鉴和 IPCC 提供的数据。

1.2 研究方法

在低碳导向下的土地利用结构优化研究中,目标函数需要综合考虑碳排放、生态和经济等多方面影响,简单的线性规划模型难以处理多个目标函数间的相互冲突,而多目标线性规划模型具有较强地处理多个目标函数问题的能力且具有较强的适用性、灵活性,能够弥补简单线性规划模型的不足。因此,针对乌鲁木齐市的土地利用结构特点,采用多目标线性规划模型对土地利用结构进行低碳优化。其基本表达式如下:

$$\begin{aligned} \text{opti: max}(\min)f(x) &= C \cdot X; \\ \text{s. t. :} &A \cdot X \leq B; \\ &X > 0. \end{aligned}$$

式中: $f(x)$ 为模型目标函数,根据优化目的,取最大或最小解作为最优量; $C = [c_1, c_2, \dots, c_m]$ 为系数; $X = [x_1, x_2, \dots, x_m]^T$ 为各种类型土地面积; A 为约束系数矩阵; $B = [b_1, b_2, \dots, b_n]^T$ 为约束常数值。

2 土地利用结构低碳优化模型构建

2.1 模型变量设置

模型变量的设置对于优化模型的构建来说非常重要,针对不同优化目标和对象,设置的变量都是不同的。本研究中变量的选取不仅要以《全国土地分类》为参考,还应遵循乌鲁木齐市土地利用规划的规定和未来的发展趋向。此外,还要考虑到乌鲁木齐市土地利用的现实情况和相关数据的可获取性。综合以上要求,共设置7个变量,分别为耕地(x_1)、园地(x_2)、林地(x_3)、草地(x_4)、建设用地(x_5)、水域(x_6)、未利用地(x_7)。

2.2 目标函数

土地利用的过程不仅会产生经济效益,还会影响生态安全和环境保护,因此,土地利用结构优化要兼顾土地利用的各方面效益。本研究以实现经济效益最大化、碳排放最小化和生态效益最大化作为调整土地利用构成的目标函数。

2.2.1 土地利用经济效益目标 本研究中各土地利用经济效益用各类型的经济产出率乘以用地面积来计算。其中,耕地和园地产值对应农业产值,根据乌鲁木齐市历年数据,相应地可以计算出2001—2015年耕地和园地的经济产出率,用GM(1,1)模型测得2020年耕地和园地的经济总产出率近49 084元/hm²;林地产值对应林业产值,测得2020年林地的经济产出率近5 425元/hm²;草地产值对应畜牧业产值,预测得到2020年草地的经济产出率为4 545元/hm²;建设用地产值则对应第二、三产业产值,预测得到2020年建设用地的经济产出率近2 893 836元/hm²。其中,由于水域和未利用地基本没有经济产出,设定其他土地系数为1。根据相应的经济产出率,确定土地利用经济效益目标函数为

$$F_1(x) = 49\,084(x_1 + x_2) + 5\,425x_3 + 4\,545x_4 + 2\,893\,836x_5 + x_6 + x_7 \rightarrow \max。$$

2.2.2 土地利用碳排放目标 土地利用碳排放目标是调整土地利用结构使乌鲁木齐市净碳排放量达到最小化。由于耕地、园地、林地、草地、水域的特性,在一段时期内,碳排放和碳吸收率的变化较小,因此设定研究期内其数值是定值,直接使用各类型的碳排放和碳吸收系数。其中,耕地的碳排放系数参考Cai的研究,取值为0.504^[5];碳吸收系数参考何勇的研

究,取值-0.007^[6]。关于园地的碳吸收系数的研究较少,借鉴IPCC(2015)的园地碳吸收系数取值为-0.21^[7]。林地的碳吸收系数参考吴庆标等的研究,其中新疆1990—2000年的森林固碳量为2.19~4.84 Tg C/年,同一时间新疆森林的面积约为67.6×10⁴ hm²,则林地碳吸收系数为-0.520^[8]。基于任继周等的研究可知,新疆草地碳汇量为24.1 Tg C/年,而同一时间草地面积为84.26×10⁶ hm²,则新疆草地碳排放系数为-0.029^[9]。参考段晓男等的研究,新疆水域固碳量约为596.13 Tg C/年,同期水域面积为1.97×10⁶ hm²,可得新疆水域碳排放系数为-0.303^[10]。

土地利用过程中各种化石能源的消耗量是动态变化的,则建设用地平均碳排放也一定会发生变化。因此,需要进行乌鲁木齐市2020年的建设用地地均碳排放预测。根据2001—2015年的变化情况,采用GM(1,1)模型最终得到乌鲁木齐市2020年建设用地的地均碳排放预测值为206.06 t/hm²。最终确定碳排放目标函数为

$$F_2(x) = 0.497x_1 - 0.21x_2 - 0.250x_3 - 0.029x_4 + 206.06x_5 - 0.303x_6 \rightarrow \min。$$

2.2.3 土地利用生态效益目标 运用土地利用生态服务价值评估来构建土地利用生态效益函数。根据谢高地等对各类土地利用的单位生态服务价值的研究,确定土地利用类型的生态效益系数(表1)^[11]。

表1 不同土地利用类型陆地生态系统单位面积生态服务价值

土地利用类型	生态服务价值 (元/hm ²)
农田	6 114.3
园地	7 607.2
森林	19 334.0
草地	6 406.5
水域	4 0676.4
难利用地	371.4

将用地类型与各陆地生态系统的利用类型相对应,耕地、园地、林地、草地、水域、未利用地分别对应农田、园地、森林、草地、水域以及难利用地,建设用地生态系数为0,得出土地利用生态效益目标函数为

$$F_3(x) = 6\,114.3x_1 + 7\,607.2x_2 + 19\,334x_3 + 6\,406.5x_4 + 40\,676.4x_6 + 371.4x_7 \rightarrow \max。$$

2.3 约束条件

综合考虑乌鲁木齐市的有关政策和规划,并结合实际土地总面积、各用地类型面积、碳减排等作为约束条件,共计9个约束条件。

2.3.1 土地总面积约束 乌鲁木齐市2020年规划面积为1 378 310 hm²,且各土地利用类型面积非负,可建立约束条件为

$$\sum_{j=1}^7 x_j = 1\,378\,310, x_j > 0。$$

2.3.2 耕地面积约束 耕地具有保障粮食安全和保护生态系统良好运转的双重功能,因此必须严格执行耕地保护政策,严守耕地红线。根据乌鲁木齐市土地利用总体规划,要切实保护耕地和基本农田,严格实施“占补平衡”政策,保证补充的耕地数量不减少、质量有增加,到目标年(2020年),确保耕

地保有量 68 957 hm²。此外,考虑到城镇化的持续推进,耕地面积的减少趋势在短时间内难以逆转,将 2015 年的耕地面积设为上限。即耕地面积约束条件为

$$68\ 957 \leq x_1 \leq 76\ 175。$$

2.3.3 园地面积约束 根据 2009—2015 年各年的园地现状数据显示,全市园地面积逐渐减少,但园地属于经济林类型,能产生较高的经济效益,又具有一定的碳吸收能力,于是,将规划中 2020 年园地面积设为下限,可建立园地面积约束条件:

$$x_2 \geq 6\ 033。$$

2.3.4 林地面积约束 森林作为最大的有机碳库,林地是增加碳吸收的主要源头。根据乌鲁木齐市土地利用总体规划,乌鲁木齐市未来要强化绿洲生态保护屏障,加强绿色空间建设,在对天然林进行保护的同时,对荒漠化林地进行封育。因此,围绕绿化建设目标,应加强林地管理,以规划中 2020 年林地预期面积设为下限,可建立林地面积约束条件为

$$x_3 \geq 72\ 861。$$

2.3.5 草地面积约束 草地具有良好的水土保持作用,要保证草地面积的基本稳定,保护和合理利用草场资源。根据规划,至 2020 年,乌鲁木齐市草地预期面积为 880 272 hm²,因此,草地面积约束为

$$x_4 \geq 880\ 272。$$

2.3.6 建设用地面积约束 建设用地是各项经济活动的主要载体,是最主要的经济增长源,但与此同时建设用地也是最主要碳源地,带来了巨大的碳排放,建设用地快速扩张,不仅带来粮食安全问题,给生态也带来压力。因此,按照规划要求,至 2020 年,乌鲁木齐市建设用地面积应控制在 128 851 hm²。并且城市化快速发展,建设用地的转变一般不具有可逆性,至 2020 年时建设面积不会低于现状值,由此,建设用地面积约束为

$$105\ 106 \leq x_5 \leq 128\ 851。$$

2.3.7 水域 根据规划目标,至 2020 年,水域面积预计为 11 394 hm²,但水域具有较高的生态服务价值,要加强水域地保护,确保居民用水安全,则结合 2015 年现状,确定水域面积约束为

$$x_6 \geq 28\ 046。$$

2.3.8 未利用地 随着发展对土地需求的不断增加,以及科学技术的逐渐提高,未来乌鲁木齐市的未利用地将有很大一部分被开发,面积将逐步减少,据规划预测 2020 年其面积约为 209 942 hm²,确定未利用地面积约束为

$$x_7 \leq 209\ 942。$$

2.3.9 重要生态功能用地 为了更好地保护生态环境,建设环境友好型社会,耕地、园地、林地、草地、水域以及未利用地等具有重要生态功能的土地应占全市总面积的 75% 以上,则:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_6 + x_7 \geq 1\ 033\ 732.62。$$

3 优化结果与分析

3.1 模型求解

多目标线性规划模型求最优解的方法有理想点法、线性加权法、遗传算法、匿名函数法等。其中,运用线性加权法求解多目标线性规划模型的思想较为广泛,但由于本模型中 3 个目标函数的取值方向和数值单位都有所不同,且数量级差异较大。因此,综合考虑下,本研究利用匿名函数来求解此优化目标。

根据优化目标的要求,土地利用经济效益目标和生态效益目标求最大值、碳排放目标求最小值,先统一目标函数取值方向,将土地利用经济效益目标和生态效益目标取负值求最小值,然后将函数和约束条件输入 Matlab 2014 软件的编辑器中,求解出低碳视角下的乌鲁木齐市土地利用结构优化模型(图 1)。

最终优化结果见表 2。



图1 优化模型求解

3.2 优化方案分析

将优化的结果与目标规划年的各类型土地利用面积进行

对比,并结合 2015 年现状土地利用状况进行分析。从表 3 可以看出,基于低碳视角的土地利用结构优化方案中,所有土地

表2 低碳视角下的新疆乌鲁木齐市土地利用结构优化结果

土地利用类型	变量	面积 (hm^2)
耕地	x_1	69 263.18
园地	x_2	6 059.78
林地	x_3	73 184.52
草地	x_4	881 004.91
建设用地	x_5	119 931.59
水域	x_6	28 191.83
未利用地	x_7	200 674.19

利用类型的面积均有不同程度的变化。其中,优化后的耕地面积相比2015年减少了约 $6\,912\text{ hm}^2$,但与2020年规划的面积相比有所增加,增加了 306.18 hm^2 ,在耕地逐年减少的现实趋势下,应尽可能充分地保证乌鲁木齐市的粮食安全。园地方面,优化面积与规划面积相比有所增加,由于园地同时具有经济效益和生态效益,面积的增长有助于乌鲁木齐市土地利用综合效益的提高。优化后的林地、牧草地占土地总面积的比重与规划相比也都有所增加,分别增加了0.02、0.06百

表3 低碳视角下的新疆乌鲁木齐市土地利用结构优化面积与规划面积比较

土地利用类型	2015年		2020年规划方案		2020年优化方案	
	面积(hm^2)	比重(%)	面积(hm^2)	比重(%)	面积(hm^2)	比重(%)
耕地	76 175	5.53	68 957	5.00	69 263.18	5.03
园地	4 633	0.34	6 033	0.44	6 059.78	0.44
林地	79 108	5.74	72 861	5.29	73 184.52	5.31
牧草地	763 567	55.40	880 272	63.86	881 004.91	63.92
建设用地	105 106	7.63	128 851	9.35	119 931.59	8.70
水域	29 046	2.10	11 394	0.83	28 191.83	2.05
未利用地	320 675	23.26	209 942	15.23	200 674.19	14.55
合计	1 378 310	100.00	1 378 310	100.00	1 378 310.00	100.00

可以计算出规划方案和优化方案的土地利用经济效益、土地利用碳排放和土地利用生态效益(表4)。

从表4可以看出,2020年土地利用规划目标下的土地利用碳排放量达到2 651.98万t,而优化后的土地利用碳排放量为2 467.41万t,减少了184.57万t,并且土地利用生态效益也从80.57亿元增加到87.50亿元,增加了6.93亿元,说明优化实现了碳排放的减少,同时也提升了生态效益。但优化后的土地利用经济效益为3 551.61亿元,较规划目标的经

济效益减少了257.9亿元。这是由于建设用地是主要碳源地,为了实现碳减排目标,要通过控制建设用地面积和增加草地、林地等碳汇地面积来实现,这势必会对土地利用的经济效益产生影响。但十九大报告提出了高质量发展的战略要求,绿色GDP核算体系在逐渐推行,即在计算GDP时将经济活动带来的资源损耗和环境降级成本从GDP中扣除,因此现在不再是一味地追求GDP快速增长,而是要经济增长与自然环境和谐统一,要经济增长对环境的负面效应尽可能小,表现了

表4 2020年新疆乌鲁木齐市土地利用结构规划目标与优化方案整体效益比较

目标	土地利用经济效益 (亿元)	土地利用碳排放 (万t)	土地利用生态效益 (万元)
2020年土地利用规划目标	3 809.51	2 651.98	80.57
2020年土地利用优化方案	3 551.61	2 467.41	87.50

优化方案实施的可行性。

综上所述,基于低碳视角下对土地利用结构的优化调整,在保证经济平稳增长的同时,有效地实现碳减排,并且兼顾土地利用生态效益的提高,基本能够满足乌鲁木齐市土地利用综合效益最优的要求。

4 结论

基于碳减排目标构建多目标规划模型,以经济效益、碳排

放和生态效益为目标函数,并设立约束条件,运用Matlab 2014软件对模型进行求解,求得2020年乌鲁木齐市土地利用结构优化方案。将优化方案与规划方案对比,耕地、园地、林地、草地、水域和未利用地面积有所增加,体现了基于低碳目标的优化过程中碳汇效应和生态效益的作用。优化后的建设用地面积有所减少,表明虽然建设用地能带来较大的经济效益,但同时也造成了巨大的碳排放,为了综合效益的最优,要管控建设用地过快增长,加强建设用地的内涵式挖潜。

黄九明,胡业翠,段晓艳,等. 我国三大城市群土地利用效率及变化研究[J]. 江苏农业科学,2019,47(19):265-269.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.19.060

我国三大城市群土地利用效率及变化研究

黄九明¹, 胡业翠^{1,2}, 段晓艳¹, 刘鹏举¹

[1. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院,北京 100083; 2. 自然资源部土地整治重点实验室,北京 100035]

摘要:运用超效率 DEA 模型、Malmquist 指数、Tobit 模型对 2004—2013 年京津冀、长三角和珠三角三大城市群共 35 个城市的土地利用效率、变化情况及其影响因素进行研究。结果表明:(1)2013 年三大城市群的土地利用效率高低表现为珠三角 > 京津冀 > 长三角,珠三角各城市之间的土地利用效率差异大于京津冀和长三角。(2)2004—2013 年三大城市群土地利用效率总体上呈现小幅上升趋势,具体为京津冀 > 长三角 > 珠三角,期间土地利用效率均呈现增减交替式发展,技术变化对土地利用效率影响程度较深。纯技术效率和规模效率对各个城市的影响基本上保持同步,由两者共同决定的技术效率与技术变化不协调。(3)经济发展水平、城镇化水平、技术进步对城市群土地利用效率有正向促进作用,但土地投资强度呈阻碍作用,对外开放程度与京津冀土地利用效率存在负相关关系,对长三角和珠三角则呈现为较显著的正相关关系。

关键词:土地利用;城市群;京津冀;长三角;珠三角;DEA;土地利用效率;Malmquist 指数

中图分类号:F301.24 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)19-0265-05

我国城镇常住人口从 1978 年的 1.7 亿人增加到 2016 年的 7.9 亿人,城镇化率也由 17.9% 上升至 57.4%,城镇化的过程对土地利用产生了显著的影响。城市群是未来我国发展格局中最具潜力的典型地区,同时在生产经济布局中起着

战略指导、增长极点和潜力支撑点的作用^[1]。改革开放以来,京津冀、长三角和珠三角等城市群率先形成了具有移动影响力的空间组织,为我国社会经济的飞速发展发挥了重要带动作用^[2]。在当前城镇化模式迅速普及的发展背景下,城市群的土地利用面临经济发展用地需求激增与有限的土地供应之间的矛盾、土地资源的稀缺性与非集约状态并存的矛盾^[3]。城市应该以提高效率为重点目标,只有城市土地利用效率高,才能获得良好的社会经济收益^[4]。

国外学者对于土地利用效率的研究主要集中在土地优化配置、区位竞争、土地结构以及城市土地利用效率的评价方法和应用上^[5-6]。国内学者在借鉴相关研究的基础上,对我国

收稿日期:2018-09-04

基金项目:高校基本科研业务专项(编号:2652015175)。

作者简介:黄九明(1995—),男,河北沧州人,硕士研究生,研究方向为土地资源管理。E-mail:292389919@qq.com。

通信作者:胡业翠,博士,教授,研究方向为区域土地利用与可持续发展。E-mail:huyue@163.com。

将规划中和优化后的各土地利用类型的经济效益、碳排放和生态效益进行对比,可以发现优化方案中碳排放降低了 184.57 万 t,土地利用生态效益也增加 6.93 亿元,虽然土地利用经济效益较规划方案减少了,但符合当前中高速增长的经济规律,进而表现了优化方案实施的可能性。

研究表明,以土地利用经济效益最大化、碳排放最小化和生态效益最大化作为目标函数,构建多目标线性规划模型对土地利用结构的优化,在保证经济平稳增长的同时,有效地实现碳减排,并且有助于土地利用生态效益的提高,对今后乌鲁木齐市土地利用有一定的指导意义。但由于一些数据难以获取,模型中仅选取了经济效益、碳排放和生态效益作为目标函数,没有加入社会效益,可能约束条件也不够充分。今后对于土地利用社会效益的量化途径有待于进一步深入研究,并补充约束条件,构建更为精确的土地利用结构优化模型。

参考文献:

- [1] 曲福田,卢娜,冯淑怡. 土地利用变化对碳排放的影响[J]. 中国人口·资源与环境,2011,11(10):76-83.
[2] 李国敏. 城市土地低碳利用模式的变革及路径[J]. 中国人口·

- 资源与环境,2010(20):62-66.
[3] 赵荣钦,刘英,郝仕龙,等. 低碳土地利用模式研究[J]. 水土保持研究,2010,17(5):190-194.
[4] 毋晓蕾,王婧,汪应宏,等. 浙川县土地利用结构低碳优化研究[J]. 地域研究与开发,2013,32(2):160-164.
[5] Cai Z C. Estimate of CH₄ emissions from year-round flooded rice fields during rice growing season in China[J]. Pedosphere,2005,15(1):66-71.
[6] 何勇. 中国气候、陆地生态系统碳循环研究[M]. 北京:气象出版社,2006:141-152.
[7] IPCC. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[M]. Cambridge:Cambridge University Press,2007:45-52.
[8] 吴庆标,王效科,段晓男,等. 中国森林生态系统植被固碳现状和潜力[J]. 生态学报,2008,28(2):0517-0524.
[9] 任继周,梁天刚,林慧龙. 草地对全球气候变化的响应及其碳汇潜势研究[J]. 草业学报,2011,20(2):21-22.
[10] 段晓男,王效科,逯非,等. 中国湿地生态系统固碳现状和潜力[J]. 生态学报,2008,28(2):463-469.
[11] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报,2008,23(5):911-919.