

北京市农作物种植结构调整与节水节肥方案优化

刘亚琼¹ 李法虎^{1*} 杨玉林²

(1. 中国农业大学 水利与土木工程学院, 北京 100083;

2. 北京市农村经济研究中心, 北京 100083)

摘要 以2007年主要农作物种植结构为参考,将设定的减量施肥目标、灌溉用水总量和土地资源等作为约束条件,对北京市农业种植结构方案进行优化分析。结果表明:现有的农业种植结构模式具有较大的调整空间。当化肥施用量比现状年(2007年)减少3%~9%时,农作物种植的年净收益最大(37.27×10^8 元);随着施肥减量比例的进一步提高,年净收益逐渐减少;但在施肥减量比例小于15%的条件下,其年净收益均高于现状年。在测试的施肥减量比例范围内,灌溉需水量随施肥减量比例的增大先减小后增大。当施肥量比现状年减少11%时,灌溉需水量达其最小值 $8.43 \times 10^8 \text{ m}^3$,而年净收益值则达其最大值的99.5%。比现状年施肥量减少9%和11%的施肥方案分别是经济效益最佳和灌溉需水量最小的推荐施肥减量方案。

关键词 灌溉用水量; 化肥施用量; 面源污染; 年效益; 线性规划

中图分类号 F 323.1; S 11+5

文章编号 1007-4333(2011)05-0039-06

文献标志码 A

Adjustment of crop planting structure and optimal analysis of water and fertilizer application in Beijing

LIU Ya-qiong¹, LI Fa-hu^{1*}, YANG Yu-lin²

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Beijing Municipal Research Centre for Rural Economy, Beijing 100083, China)

Abstract Based on the data of planting structure of main crops in 2007, the scheme of agricultural planting structure in Beijing City was optimized and analyzed under the constraints of the application amount of chemical fertilizer, irrigation water requirement, and agricultural land resources and so on. The results indicate that the existing planting structure mode has a great adjustable space. When the application amount of chemical fertilizer was decreased by 3% - 9% based on that in 2007, annual net benefit from agricultural planting got its maximum of 37.27×10^8 Yuan. With the further reduction of fertilizer application amount, the annual net benefit gradually decreased. However, the annual net benefit still was greater than that in 2007 if the reduction proportion of fertilizer application amount was smaller than 15%. Within the tested range of the reduction proportion of fertilizer application amount, irrigation water requirement firstly decreased and then increased with the decrease of fertilizer application amount. When the fertilizer application amount was cut down by 11% from that in 2007, irrigation water requirement got to the minimum of $8.43 \times 10^8 \text{ m}^3$ and annual net benefit also got to 99.5% of its maximum value. The schemes of 9% and 11% reductions of fertilizer application amount lower than that in 2007 are recommended respectively for maximum economic benefit and minimum irrigation water requirement from crop planting.

Key words irrigation water requirement; application amount of chemical fertilizer; non-point pollution; annual net benefit; linear programming

收稿日期: 2011-03-09

基金项目: 北京市科技计划项目(D07050601510000)

第一作者: 刘亚琼, 硕士, 主要从事农业水土工程研究, E-mail: liuyaqiong0310@163.com

通讯作者: 李法虎, 教授, 博士生导师, 主要从事农业水土工程与水土环境研究, E-mail: lifahu@cau.edu.cn

农业生产活动导致农业面源污染^[1]。化学肥料作为土壤养分的主要来源之一,不同种类的农作物对施肥量的需求也各不相同,因此不同土地利用方式将导致不同的面源污染负荷。例如,由稻田改为棉—麦轮作会极大降低农业面源污染强度^[2]。与小麦—玉米轮作体系相比,大棚蔬菜种植体系导致土壤养分大量累积甚或淋溶^[3]。一个地区的农业种植结构既与当地的自然条件、生产资料以及农产品供需平衡等因素有关,同时也受当地传统生产习惯以及农业政策等的影响^[4-5],是一个复杂的系统工程。北京市化肥施用量高于全国平均水平,是世界平均水平的3倍左右^[6]。过量的化肥应用也是该地区农田水土环境污染的重要因素之一^[7-9]。此外,农户种植以经济效益为目标,甚少考虑环境效益和水土资源的合理有效利用,这在一定程度上也增大了本地区农业种植结构的不合理性。

农业种植结构是影响农业面源污染的重要因素。农作物种植布局可通过线性规划模型优化分析,从而获得区域农业种植结构调整的科学依据^[10-13]。根据不同研究区的自然条件和研究侧重点,对区域农业种植结构方案优化分析的研究较多^[4-5,14-15],这对促进研究区的农业生产起到了积极作用。但对于像北京这样的大都市地区,其严重的水土资源短缺限制以及严格的环境生态质量要求与传统农业区有较大差异^[14],社会效益以及生态效益显得更为重要。虽然北京市农业种植结构调整与水资源供需关系已有相关的研究^[14],但对都市区农业种植结构的调整与水土资源以及施肥量之间的区域优化方案尚未涉及。通过调整农业种植结构,减少施肥量,可以从根本上降低农业面源污染发生的风险。

本研究拟以土地资源、灌溉需水量和施肥减量目标等作为约束条件,以经济收益为目标函数,对北京地区农业种植结构调整方案进行优化分析,以期将生态效益和社会效益与经济效益有机地统一起来,为合理制定都市区区域农业种植结构调整方案提供科学依据。

1 农作物种植结构线性规划模型的建立

通过线性规划技术,对有限的资源进行最优分配,从而获得最佳的经济效益^[16-17]。设 a_{ij} ($i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$)为结构系数, b_i 为常数项, c_j 为价值系数, x_j 为决策变量, m 是约束条件方程组中独立方程的数目, n 表示决策变量的个数,则线性规

划模型的目标函数 S 可表示为^[18]:

$$\max(\min)S = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1)$$

约束条件可表示为:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq (=, \geq) b_i & (i = 1, 2, \dots, m) \\ x_j \geq 0 & (j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (2)$$

1.1 建模原则

1)在现有土地资源供给的基础上,调整北京市主要农作物的种植结构布局,兼顾生态效益和经济效益;2)在保证农作物生长需要的基础上,尽量减少化肥施用量,有效控制农业面源污染物潜在污染的风险;3)与北京市的都市农业规划相一致。

1.2 目标函数、决策变量及约束条件的确定

线性规划数学模型要求只有一个目标函数,其余的目标函数可以转化为约束条件,因此,本研究选择北京市主要农作物的年净收益为目标函数,将土地资源、农田化肥施用量、主要农作物的灌溉需水量等作为约束条件。以2007年为现状年,利用线性规划模型对研究区域不同年度的农作物种植结构进行优化分析计算。本文中只讨论了2012年北京市主要农作物种植结构的优化调整计算结果。

线性规划模型的决策变量根据北京市主要农作物的种植现状确定。共设置8个决策变量,分别是:水稻(x_1)、冬小麦和夏玉米两茬平播(x_2)、其他粮食作物(x_3)、露地蔬菜(x_4)、设施蔬菜(x_5)、露地经济作物(x_6)、设施经济作物(x_7)和牧草的种植面积(x_8), hm^2 。

在现有的粮食价格体系下,北京市各主要农作物的净收益分别为:水稻 4.5×10^3 元/ hm^2 、冬小麦和夏玉米两茬平播 8.55×10^3 元/ hm^2 、其他粮食作物 4.5×10^3 元/ hm^2 、露地蔬菜 15.0×10^3 元/ hm^2 、设施蔬菜 45.0×10^3 元/ hm^2 、露地经济作物 15.0×10^3 元/ hm^2 、设施经济作物 45.0×10^3 元/ hm^2 、牧草 15.0×10^3 元/ hm^2 ^[14]。因此,线性规划模型的目标函数 S (10^6 元)可表示为:

$$S = (4.5x_1 + 8.55x_2 + 4.5x_3 + 15.0x_4 + 45.0x_5 + 15.0x_6 + 45.0x_7 + 15.0x_8) / 10^3 \quad (3)$$

线性规划模型的主要约束条件分别表示如下。

1)主要农作物种植面积约束条件。根据《北京市土地利用总体规划(2006—2020年)》列出的土地利用主要调控指标^[19],2010和2020年的北京市耕

地保有量分别为 22.6×10^4 和 21.5×10^4 hm^2 。据此,设定北京市 2012 年的耕地保有量为 22.0×10^4 hm^2 ,则 2012 年北京市主要农作物种植面积约束条件为:

$$\sum_{j=1}^8 x_j \leq 22.0 \times 10^4 \quad (4)$$

2)主要农作物年灌溉供水资源量约束条件。根据北京市水利科学研究所推荐的作物灌溉定额^[14],各主要农作物的灌溉定额分别取为:水稻 11.1×10^3 m^3/hm^2 、冬小麦夏玉米两茬平播 3.6×10^3 m^3/hm^2 、其他粮食作物 1.72×10^3 m^3/hm^2 、露地蔬菜 11.1×10^3 m^3/hm^2 、设施蔬菜 8.25×10^3 m^3/hm^2 、露地经济作物 2.85×10^3 m^3/hm^2 、设施经济作物 8.25×10^3 m^3/hm^2 、牧草 2.25×10^3 m^3/hm^2 。由于北京市水资源短缺,工农业生产对水资源的竞争激烈,其用水结构一直发生着变化,农业用水量逐年减少^[20]。2005 年北京市农田灌溉供水量(平水年)为 13.03×10^8 m^3 ^[14]。设 2012 年农业灌溉可供用水量不超过 13.03×10^8 m^3 ,则 2012 年灌溉供水资源量约束条件为:

$$\begin{aligned} &11.1x_1 + 3.6x_2 + 1.72x_3 + 11.1x_4 + \\ &8.25x_5 + 2.85x_6 + 8.25x_7 + \\ &2.25x_8 \leq 13.03 \times 10^8 \end{aligned} \quad (5)$$

3)农作物化肥施用量约束条件。通过控制农作物的化肥施用量,可以从源头上有效地控制农业面源污染,减少化肥等农业面源污染物对土壤环境和地下水环境的潜在污染风险。施肥量约束条件为:

$$\sum_{j=1}^8 f_j x_j \leq W_f \quad (6)$$

式中: f_j 为第 j 种农作物单位面积上的施肥量; W_f 为农作物总的化肥施用量。本研究以 2007 年北京市主要农作物播种面积内的总施肥量为参照,分别设定总施肥量减少 3%、5%、7%、9%、11%、13%、15%、20%、25%和 30%的减量目标加以讨论。

根据北京市土肥工作站对 2007 年北京市主要农作物肥料施用状况的调研^[21],2007 年北京市主要农作物以肥料形式投入的总养分情况为:粮田 0.54 t/hm^2 、露地菜田 1.26 t/hm^2 、设施菜田 1.45 t/hm^2 、果园 1.14 t/hm^2 、保护地 1.45 t/hm^2 、牧草地 0.30 t/hm^2 。据此,可计算出现状年(2007 年)和各种设定的减量施肥目标方案下北京市主要农作物播种面积内的总施肥量。2007 年北京市主要农作物

作物播种面积内的施肥总量为 23.58×10^4 t 。根据不同的施肥减量方案,可列出相应的农作物施肥总量的约束条件为:

$$\begin{aligned} &0.54x_1 + 0.54x_2 + 0.54x_3 + 1.26x_4 + \\ &1.45x_5 + 1.14x_6 + 1.45x_7 + \\ &0.3x_8 \leq 23.58 \times 10^4 p \end{aligned} \quad (7)$$

式中: p 为以 2007 年总施肥量为基准而设定的不同施肥减量比例,分别取 3%、5%、7%、9%、11%、13%、15%、20%、25%和 30%。

4)设施农业种植面积约束条件。根据北京市设施农业发展规划^[22],到 2012 年北京市的设施农业面积将发展到至 30×10^3 hm^2 ,因此设施农业种植面积约束条件为:

$$x_5 + x_7 \geq 30 \times 10^3 \quad (8)$$

5)设施经济作物种植面积约束条件。由 2008 年北京统计年鉴数据可知^[23],2007 年北京市设施经济作物的种植面积为 6.24×10^3 hm^2 。根据北京市设施农业发展规划^[22],设施经济作物种植面积不小于现状年(2007 年)的种植规模,即

$$x_7 \geq 6.24 \times 10^3 \quad (9)$$

6)粮田种植面积约束条件。北京市农作物种植结构调整的总体战略目标是实现粮食、瓜果菜经济作物、牧草的比例为 1:1:1^[14]。按照 2012 年北京市农作物种植面积 22.0×10^4 hm^2 计算,粮食作物和牧草的种植面积都应不小于 7.33×10^4 hm^2 ,即粮田种植面积的约束条件为:

$$x_1 + x_2 + x_3 \geq 7.33 \times 10^4 \quad (10)$$

7)水稻种植面积约束条件。根据北京市农业发展规划,全市将逐步取消水稻种植^[24]。因此,水稻种植面积的约束条件为:

$$x_1 = 0 \quad (11)$$

8)各主要农作物种植面积非负约束条件。应保证各种主要农作物种植面积的非负条件:

$$x_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, 8) \quad (12)$$

2 计算结果与分析

2.1 现状年种植结构及种植结构调整方案分析

根据 2007 年北京市主要农作物的种植情况、灌溉需水定额、施肥水平和农产品的市场价格^[14],北京市主要农作物的播种面积、灌水量、施肥量以及年净收益情况见表 1。

表1 2007年北京市主要农作物播种面积、灌水量、施肥量及年净收益

Table 1 Planting area, irrigation water requirement, fertilizer application amount, and annual net benefit from main crops in Beijing in 2007

农作物种植种类	播种面积/ 10^3 hm^2	灌水量/ 10^6 m^3	施肥量/ 10^3 t	年净收益/ 10^6 元
水稻	0.52	5.77	0.28	2.3
冬小麦夏玉米两茬平播	41.34	148.82	22.51	353.5
其他粮食作物	110.77	191.08	60.31	498.5
露地蔬菜	70.10	778.11	88.22	1 051.5
设施蔬菜	22.95	189.32	33.22	1 032.7
露地经济作物	19.18	54.65	21.95	287.6
设施经济作物	6.24	51.48	9.03	280.8
牧草	1.12	2.51	0.33	16.8
总计	272.21	1 421.75	235.85	3 523.7

以现状年(2007年)北京市主要农作物的种植结构为依据,根据2007年北京市的总施肥量和各种设定的施肥减量目标方案时的施肥量,结合其他约

束条件,利用线性规划模型进行求解。不同施肥减量情景下的种植结构、施肥量、灌溉需水量和年净收益计算结果见表2。农作物种植结构调整方案见表3。

表2 不同施肥减量目标情景下的种植结构、施肥量、灌溉需水量和年净收益

Table 2 Crop planting structure, fertilizer application amount, irrigation water requirement, and annual net benefit for various reduction proportions on chemical fertilizer application amount

施肥减量比例/%	粮田面积/ 10^3 hm^2	设施农业面积/ 10^3 hm^2	农作物播种面积/ 10^3 hm^2	灌溉需水量/ 10^6 m^3	施肥量/ 10^3 t	年净收益/ 10^6 元
0(现状年)	152.63	29.19	272.21	1 421.75	235.85	3 523.7
3	73.33	30.0	220.0	853.38	211.98	3 727.0
5	73.33	30.0	220.0	853.38	211.98	3 727.0
7	73.33	30.0	220.0	853.38	211.98	3 727.0
9	73.33	30.0	220.0	853.38	211.98	3 727.0
11	76.48	30.0	220.0	842.75	209.92	3 706.7
13	84.34	30.0	220.0	848.65	205.20	3 656.0
15	92.20	30.0	220.0	854.55	200.48	3 605.3
20	111.86	30.0	220.0	869.29	188.69	3 478.5
25	131.51	30.0	220.0	884.03	176.89	3 351.7
30	151.17	30.0	220.0	898.77	165.10	3 225.0

表3 不同施肥减量比例情景下农作物种植面积

Table 3 Crop planting areas under various reduction proportions on chemical fertilizer application amount

10³ hm²

作物种植类型	施肥减量比例/%								
	0(现状年)	7	9	11	13	15	20	25	30
水稻	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
冬小麦夏玉米轮作	41.34	73.33	73.33	76.48	84.34	92.2	111.86	131.51	151.17
其他粮食作物	110.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
露地蔬菜	70.1	55.3	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
设施蔬菜	23.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
露地经济作物	19.17	55.33	109.08	107.51	99.65	91.78	72.13	52.47	32.82
设施经济作物	6.2	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
牧草	1.12	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01

线性规划模型的求解结果表明,当施肥量在现状年的基础上减少3%~9%时,农作物的年净收益最大(37.27×10⁸元)且保持不变;随着施肥减量比例的进一步提高即施肥量的进一步继续减少,农作物年净收益逐渐减少。灌溉需水量随着施肥减量比例的增加,呈现出先减小后增大的变化趋势。当施肥量在现有基础上减少3%~9%时,灌溉需水量为8.53×10⁸ m³且保持不变;当施肥量继续减少至现状年的11%时,灌溉需水量减小至其最小值的8.43×10⁸ m³;当施肥量减量比例在11%~30%范围内时,灌溉需水量又呈现出逐渐增大之趋势(表2)。

当施肥量比现状年(2007)减少3%~15%时,农作物的年净收益均高于现状年的年净收益,这表明现有的种植结构模式具有较大的调整空间。但当施肥减量的比例大于15%时,农业种植的年净收益值将低于现状年,这意味着过量地减少施肥量将影响种植业的经济效益。

从农作物种植结构调整方案(表3)可以看出,对于水稻这样的高需水量农作物,在北京市应尽快将其种植面积削减为0。对于牧草这种单位面积施肥量和灌溉需水量相对较低的作物,应给予政策倾斜,逐步适度增大其种植规模,促进当地禽畜养殖业的发展。

综上分析,若从节约灌溉用水的角度考虑,则可采取施肥量减少11%的方案(表3),此时灌溉需水量最小,且年净收益值达其最大值的99.5%(表2)。此方案既可有效缓解灌溉用水的短缺问题,又兼顾

了生态效益和经济效益的双重目的。若从经济效益角度考虑,则可采取施肥量减少9%的方案(表3),此时农作物年净收益达到其最大值,且灌溉需水量较2007年也有较大幅度减少,其减少量高达40.0%(表2)。

2.2 求解过程中存在的问题

本研究在对线性规划数学模型求解的过程中,假定北京市主要农作物的施肥水平不变,即不同类型的农作物其单位面积的施肥量与现状年(2007年)的水平相当,以此来求解不同施肥减量目标情境下的农作物种植结构调整方案。实际上,北京市的施肥水平远远高于全国的平均水平,施肥过量、施肥结构不合理的现象很严重^[25]。为了有效地控制农业面源污染,必须从源头加以控制。通过改善施肥现状,其中包括减小施肥量和优化施肥结构等,再辅以农作物种植结构的调整,才能达到有效削减农业面源污染的效果,降低农业面源污染物对土壤环境、地表水和地下水环境的不良影响。

本文中只讨论了不同施肥减量目标下整个北京市农作物种植结构的优化方案。由于不同区县的种植结构和施肥状况差异很大^[26],因此所得出的调整方案不可普遍应用于小范围内各区县农作物种植结构的调整。小范围内的农作物种植结构调整需结合具体情况制定。

本研究在利用线性规划模型求解的过程中,将灌溉用水量设定为约束条件,这主要是考虑到北京地区水资源严重缺乏的现状,而对再生水利用问题

包括水质、水量以及投资和效益等因素未加考虑。

3 对北京市农业种植结构调整的建议

线性规划数学模型的求解结果表明,农作物种植的年净收益在施肥量比现状年(2007)减少3%~15%的条件下均高于现状年2.3%~5.7%,因此现有的种植结构模式具有较大的调整空间。施肥量减少9%或11%的2种方案,均可保证在较小的灌溉需水量条件下取得较大的农业种植经济效益。

1)水土资源短缺导致北京市农产品的生产成本过高。北京市粮食作物种植发展应采取以冬小麦与夏玉米轮作为主的种植模式,淘汰高耗水量的水稻种植,其他粮食作物的种植面积也应逐步削减,粮食不足部分从外地购买。

2)随着经济的快速发展,北京市农产品市场的需求很大。北京市的农业种植结构应适应经济、社会和生态发展的要求,逐步退出一些传统的种植业,加强区域间的统筹合作,建立外埠农业合作圈,扩展北京农业的发展空间。

3)各区县应根据不同的种植结构现状和经济发展水平等因素,制定各自的施肥减量目标和主要农作物的种植结构调整方案。

参 考 文 献

- [1] Corwin D L, Vaughan P J, Loague K. Modeling nonpoint source pollutants in the vadose zone with GIS [J]. *Environmental Science and Technology*, 1997, 31(8): 2157-2175
- [2] 寇长林,巨晓棠,高强,等. 两种农作体系施肥对土壤质量的影响[J]. *生态学报*, 2004, 24(11): 2548-2556
- [3] 杨志新. 北京郊区农田生态系统正负效应价值的综合评价研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006
- [4] 朱春江,唐德善. 基于线性规划模型的农业种植业结构优化研究[J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(12): 2623-2624
- [5] 陈海燕,陆明. 线性规划模型在农业生产结构调整中的应用: 以安徽凤阳县为例[J]. *技术经济*, 2003, 12: 40-41
- [6] 马立珊,汪祖强. 苏南太湖水系农业面源污染及其控制对策研究[J]. *环境科学学报*, 1997, 17(1): 39-47
- [7] 全为民,严力蛟. 农业面源污染对水体富营养化的影响及其防治措施[J]. *生态学报*, 2002, 22(3): 291-299
- [8] 鲍全盛,曹利军. 密云水库非点源污染负荷评价研究[J]. *水资源*

保护, 1997(1): 8-11

- [9] 刘宏斌,张云贵,李志宏,等. 北京市平原农区深层地下水硝态氮污染状况研究[J]. *土壤学报*, 2005, 42(3): 411-418
- [10] Karmarkar N. A new polynomial-time algorithm for linear programming[J]. *Combinatorica*, 1984, 4(4): 373-395
- [11] 吴殿廷,王传周. 农作物布局优化模型的初步研究[J]. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 1998, 34(4): 554-558
- [12] 刘兆顺,李淑杰. 基于生态系统服务价值的土地利用结构优化: 以重庆万州为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(7): 646-651
- [13] 吴富宁,朱虹,郑丽敏,等. 区域种植业结构调整和布局优化模型的设计实现[J]. *中国农业科技导报*, 2004, 1(6): 63-67
- [14] 刘洪禄,车建明. 北京市农业节水与作物种植结构调整[J]. *中国农村水利水电*, 2002(11): 10-12
- [15] 张丛,何晋武,张倩. 武威市凉州区农业种植结构调整的双目标优化[J]. *中国农业资源与区划*, 2008, 29(4): 35-38
- [16] Viaggi D, Bartolini F, Raggi M. Combining linear programming and principal-agent models: An example from environmental regulation in agriculture [J]. *Environmental Modelling & Software*, 2009, 24(6): 703-710
- [17] 安劲萍. 线性规划在经济分析中的应用[J]. *中央财经大学学报*, 2005(1): 44-47
- [18] 秦国明,徐玉芳,陈民生,等. 线性规划在农业生产中的应用[J]. *安徽农学通报*, 2006, 12(9): 33
- [19] 北京市人民政府. 北京市土地利用总体规划(2006—2020) [EB/OL]. [2010-01-08]. <http://www.bjgtj.gov.cn/publish/portal0/tab2929/info53542.htm>
- [20] 陈素英,胡春胜,孙宏勇,等. 节水型种植结构与北京供水安全探讨[J]. *干旱区资源与环境*, 2006, 20(2): 33-36
- [21] 北京市土肥工作站. 北京市主要农作物肥料施用现状调研 [EB/OL]. [2011-03-25]. <http://wenku.baidu.com/view/3f41844569eae009581bec4a.html>
- [22] 北京市人民政府. 北京市人民政府关于促进设施农业发展的意见 [EB/OL]. [2008-06-28]. http://law.baidu.com/pages/chinalawinfo/1701/87/45de6d7d01c375af7f1d958d48238eff_0.html
- [23] 北京统计局. 北京统计年鉴, 2008 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2008
- [24] 刘宏斌. 施肥对北京市农田土壤硝态氮累积与地下水污染的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2002
- [25] 杜连凤,吴琼,赵同科,等. 北京市郊典型农田施肥研究与分析[J]. *中国土壤与肥料*, 2009(3): 75-78
- [26] 宋秀杰. 北京郊区农业种植结构调整与发展节水农业[J]. *北京农业科学*, 2001, 19(4): 6-9

(责任编辑: 刘迎春)