

河北省不同养殖模式的畜禽粪尿资源及污染风险分析

赵 路^{1,2}, 魏 静¹, 马 林^{1,2}, 王方浩², 马文奇¹

(1.河北农业大学资源与环境学院, 河北 保定 071001; 2.教育部植物-土壤相互作用重点实验室, 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

摘 要:利用统计数据和实地调研数据,借鉴国内外研究方法,系统地估算了河北省各地区规模化养殖和农户散养模式下的畜禽粪尿资源数量与粪尿农田负荷量。研究结果表明,2004年,河北省的畜禽规模养殖粪尿量比例达到49.6%,基本接近农户散养比例。廊坊和石家庄的规模养殖产生的粪尿比例在河北省位于前列,分别为72%和59%;河北省畜禽养殖对于农田的污染风险主要以规模养殖为主,规模养殖下农田负荷量为 $114.1 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,该模式下单位面积农田氮负荷量为 $0.56 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,磷为 $0.17 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,高于全国平均水平。

关键词:畜禽粪尿;污染风险;养殖模式;农田负荷

中图分类号:X713 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)03-0544-05

The Assessment and Comparison on Animal Manure Pollution Risk of Different Breeding Patterns in Hebei

ZHAO Lu^{1,2}, WEI Jing¹, MA Lin^{1,2}, WANG Fang-hao², MA Wen-qi¹

(1.College of Resources and Environmental Sciences, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China; 2.Key Laboratory of Plant-Soil Interactions, MOE, College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract:Based on statistical and inquisitional data, the quantity of animal manure production and its load to cropland in Hebei Province were analyzed in this paper. The results were difference which depended on their feeding operations, both of intensive and household feeding style system were chosen in this case study. It is showed that the ratio of intensive system to total animal manure production accounted by 49.6% in Hebei in 2004 and it almost equaled to the ratio of household animal feeding operation. In all cities of Hebei Province, Langfang and Shijiazhuang were the top two on the ratio of intensive system to total manure production, respectively, arrived at 72% and 59%. In this paper, it also indicated intensive system became the all-important resource for land pollution risk and animal manure production load to cropland. The province-wide mean level of animal manure production load to cropland was 114.1 tons per hectare. Moreover, the manure nitrogen load to cropland was 0.56 ton per hectare, and manure phosphorus load was 0.17 ton per hectare.

Keywords: animal manure; pollution risk; animal feeding operation; land load

养分是动植物必需的营养元素,其具有双重属性,在体现自身资源属性的同时,另外的污染属性也逐渐显露出来,这种污染属性的不断扩张与畜牧业的发展和人们的活动密切相关。畜牧系统作为一个完整的系统,其中的养分输入和输出差异会引起养分失衡,多余的养分会在土体累积并对环境造成潜在的危

害^[1],不仅如此,水体和大气也同样承受着畜牧业带来的压力。Mallin等通过对美国北卡罗来纳州畜禽养殖场的研究认为畜禽粪尿是水生生态系统氮和病原微生物污染的主要来源^[2]。Kumm利用食物链原理提出了减少大气中氮的途径^[3]。除此之外,国内外的很多学者也做了很多基础性的工作,并且充分论证了畜禽养殖已经成为农业面源污染最主要的因素之一。

规模养殖与农户散养作为当前畜禽养殖的两种方式,无论从饲料的投入还是粪尿排放方式、处理方式上均存在着很大差异,因此,两者产生的环境风险也不尽相同。全国80%的规模化养殖场缺乏必要的污染治理设施,处理设施的缺乏造成了大量畜禽粪尿直

收稿日期:2008-06-17

基金项目:科技部支撑项目(2006BAD05B04);国家自然科学基金项目(30571087);农业部948项目(2006-G60)

作者简介:赵 路(1983—),男,河北元氏人,在读硕士研究生,研究方向为养分资源管理。E-mail:bryantzl@163.com

通讯作者:魏 静 E-mail:weijing_199@163.com

接排入环境,造成环境污染^[4]。某些区域的畜禽粪尿已远远超过当地的土壤负荷,其处理和利用引起的土壤和水体的污染也越来越引起政府和社会的关注^[5]。河北省作为我国畜牧业最发达的地区之一,规模养殖和农户散养所带来的畜禽污染也最为严重。近年来,随着生产力的不断提高,该地区畜牧业发展最显著的特点就是生产方式朝着规模化、集约化方向发展。这种养殖模式的转变虽然在一定程度上满足了人们的生活需要,同时也将大量的畜禽粪尿集中在一起,势必造成一系列更为严重的环境问题。

本研究通过计算农户散养和规模养殖模式下的畜禽粪尿数量、养分数量、农田负荷量,对河北省畜牧业发展带来的环境污染进行风险分析,并根据研究结果比较分析了两种养殖模式的发展情况,以期为合理规划河北省畜牧业发展提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

河北省地处北纬 36°05′至 42°37′,东经 113°11′至 119°45′之间,位于华北平原,兼跨内蒙古高原,包括石家庄、唐山等地在内的 11 个市。全省地势由西北向东南倾斜,西北部为山区、丘陵和高原,其间分布有盆地和谷地。该省是我国重要的农业、畜牧业基地,耕地面积 600 万 hm^2 ,占全国耕地面积的 6%。

2004 年,河北省畜禽饲养数量巨大,其中规模养殖占了相当大的比重,为总饲养量的 48.4%(以 61 kg 的猪为一个标准单位计算)。大牲畜的饲养量已经渐渐接近甚至超过农户散养的数量,蛋鸡和肉鸡的规模化饲养程度最高,都占到饲养数量的 74%~75%。规模化养殖的不断扩大使得生产效率得以提高,但规模化养殖同样也存在着很严重的问题,由于大多数规模养殖场并不能对畜禽粪尿进行合理的处理,导致大量畜禽粪尿直接进入水体,不仅影响着水体的质量,也威胁着人类的生活。

1.2 数据的获取

本研究中规模化养殖和农户散养的畜禽数量基础数据出自《河北省畜牧业统计资料 2004》^[6],为统计数据;而畜禽粪尿去向比例确定参考的数据来源于实地调查数据,本文的规模养殖和农户散养下的畜禽粪尿还田比例采用 70%和 66%,两种模式下对于水体的贡献率大约在 30%左右^[7-8]。

1.3 计算参数

各种畜禽的粪尿产生量参考表 1 中的畜禽粪尿

表 1 畜禽粪尿排泄系数

Table 1 Animal excreta parameter

畜禽种类 Categories	粪尿排泄系数平均值 Mean of excreta
猪/ $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	5.3
役用牛/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	10.1
肉牛/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	7.7
奶牛/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	19.4
马/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	5.9
驴、骡/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	5.0
羊/ $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$	0.87
肉鸡/ $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	0.10
蛋鸡/ $\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$	53.3
鸭、鹅/ $\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$	39.0
兔/ $\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$	41.4

数据来源:王方浩等^[10]。

排泄系数进行计算。由于粪尿排泄系数的确定忽略了气体的挥发损失,因此在计算粪尿中养分去向的时候就不用再考虑排放进入大气的部分。粪尿中的氮磷含量参考《中国有机肥料养分志》^[9]中的数据进行计算。

1.4 计算方法

根据统计数据和粪尿去向比例,利用 Excel 软件计算农户散养和规模养殖下粪尿产生量、粪尿氮磷养分量、进入农田的粪尿量和氮磷养分量,对河北省畜牧业环境风险进行分析。

① 畜禽粪尿产生量=饲养量 $\times$ 饲养期 $\times$ 粪尿排泄系数

② 畜禽粪尿中的纯养分量=畜禽粪尿产生量 $\times$ 粪尿中的纯养分含量

③ 畜禽粪尿农田负荷量=畜禽粪尿产生量 $\times$ 粪尿还田比例

④ 畜禽粪尿农田养分负荷量=畜禽粪尿产生量 $\times$ 粪尿还田比例 $\times$ 粪尿中的纯养分含量

⑤ 单位面积畜禽粪尿农田负荷量=畜禽粪尿农田负荷量/耕地面积

⑥ 单位面积畜禽粪尿农田养分负荷量=畜禽粪尿农田养分负荷量/耕地面积

2 结果与分析

2.1 河北省各地区不同养殖模式下的畜禽粪尿资源数量

2004 年河北省规模养殖和农户散养下的畜禽粪尿产生量基本相同,其中石家庄地区的粪尿产生量最高,并且该地区规模养殖的粪尿量比散养高出 657 万 t。大牲畜的饲养类型因地区而异,从整个河北省来说,

规模化饲养奶牛产生的粪尿量所占比重较大,达到奶牛总粪尿量的 55.5%;家禽产生的粪尿数量以规模饲养占主要地位,规模饲养产生的粪尿量占总量的 74.2%。对于各种畜禽产生的粪尿量,河北省各地区也各不相同,产生量较大的地区集中在石家庄和唐山,这两个地区的畜禽粪尿量为河北省总量的 22.7%和 13.3%。石家庄的奶牛、肉牛、蛋鸡集约化养殖程度高,居于河北省首位,规模饲养产生粪尿数量较最少产生量的地区高出 559 万 t、428 万 t、765 万 t,唐山以猪和肉鸡集约化饲养程度最高,规模养殖产生粪尿数量较最少产生量的地区高出 360 万 t、26 万 t。

2.2 河北省各地区不同养殖模式下的畜禽粪尿农田养分负荷量

畜禽粪尿农田负荷反映的是土壤承载的畜禽粪尿量。畜禽粪尿中含有大量的 N 和 P,对于规模养殖而言,大量的畜禽粪尿通过不同途径进入农田,其中过量的 N、P 排放极易造成土壤环境的破坏;对于农户散养而言,农户养殖数量少而且比较分散,对粪尿的处理主要以堆肥的形式还田,这样也会增加土壤的氮磷负荷。

河北省规模养殖下粪尿农田氮承载和磷承载比重均高于农户散养,分别为 57%和 59%,各地区规模养殖下的粪尿养分承载比重基本都能达到甚至超过 50%,其中以廊坊的规模养殖比重最高,氮、磷承载比重都为 71%;而张家口地区最低,分别为 35%和 36%。石家庄地区,规模养殖条件下进入土壤中的 N 和 P 分别达到 9.5 万 t 和 3.2 万 t,远远高于其他地区。大部分地区两种养殖模式向农田贡献的养分量基

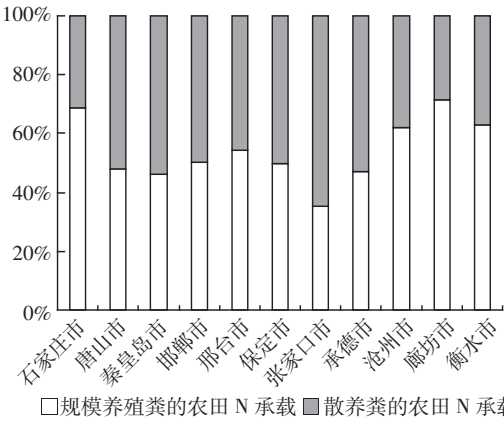


图 1 河北省不同养殖模式的畜禽粪尿农田 N 承载比重
Figure 1 The ratio of manure N load on cropland between intensive and household system in different areas of Hebei

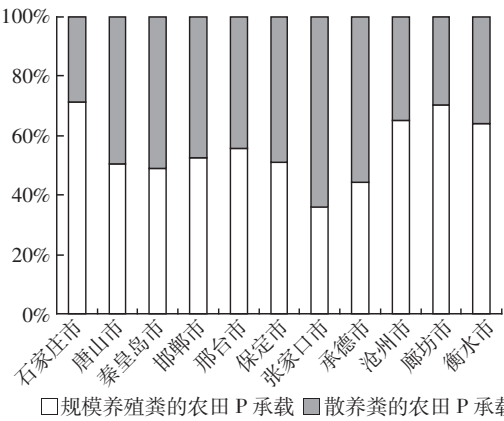


图 2 河北省不同养殖模式的畜禽粪尿农田 P 承载比重
Figure 2 The ratio of manure P load on cropland between intensive and household system in different areas of Hebei

表 2 2004 年河北省不同地区畜禽粪尿产生量

Table 2 The quantities of animal manure production in different cities of Hebei in 2004

地区 Area	猪粪尿量/万 t Manure of swine		奶牛粪尿量/万 t Manure of dairy cattle		肉牛粪尿量/万 t Manure of beef cattle		羊粪尿量/万 t Manure of sheep and goat		肉鸡粪尿量/万 t Manure of broiler		蛋鸡粪尿量/万 t Manure of layer		总粪尿量/万 t total manure	
	规模	散养	规模	散养	规模	散养	规模	散养	规模	散养	规模	散养	规模	散养
河北省	1 774	2 806	1 649	1 325	1 786	2 433	970	1 168	109	41	2 080	720	8 368	8 493
石家庄	322	589	575	156	441	593	110	105	7	5	783	133	2 238	1 581
唐山	380	307	268	556	123	272	60	63	29	19	116	53	974	1 269
秦皇岛	111	106	17	61	25	105	33	42	9	1	32	16	227	331
邯郸	184	373	77	39	48	223	83	202	2	2	348	166	743	1 006
邢台	101	189	69	58	122	226	61	87	3	1	218	104	574	663
保定	233	462	212	108	74	182	95	152	12	3	155	81	781	987
张家口	26	178	164	238	13	151	79	164	2	0	41	32	325	763
承德	20	265	100	62	172	173	82	75	3	1	17	22	394	598
沧州	95	109	59	7	197	232	117	116	22	3	138	29	628	496
廊坊	162	76	76	21	421	134	147	82	15	4	80	34	900	351
衡水	141	154	31	19	150	142	104	80	6	2	153	50	585	446

本持平,只有张家口地区的规模养殖比重较低,这主要与当地的地形有关,张家口有大量的草原,属于牧区,因此,规模化猪和家禽的养殖量非常少,导致了规模化程度较低。从总量上来看,河北省畜禽养殖对土壤造成的 N、P 负荷还是主要以规模化养殖为主。

2.3 河北省各地区不同模式下单位面积畜禽粪尿农田负荷量和养分负荷量

在河北省,石家庄、沧州、廊坊、衡水的规模养殖单位面积粪尿的农田负荷量要高于散养粪尿的农田负荷量。就河北省整体而言,规模养殖模式下单位面积的农田负荷量为 $114.1 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,而农户散养为 $109.2 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。2004 年,河北省单位面积畜禽粪尿氮、磷的农田负荷量分别为 $1.16 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $0.34 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,其中规模养殖下的单位面积粪尿氮、磷农田负荷量分别为 $0.56 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $0.17 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,远远高于全国平均的 $0.103 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 氮负荷量和 $0.028 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 磷负荷量^[11]。石家庄地区的规模养殖数量较其他地区多,因此,该地区畜禽粪尿的农田负荷量也最高,达到 $27.3 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,高于全国平均值 $24 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。廊坊的粪尿农田负荷量也很高,为 $17.1 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。石家庄、唐山的散养模式的粪尿农田负荷量较高,散养污染也主要集中在这两个地区。

表 3 2004 年河北省各地区规模养殖和散养粪尿的单位面积农田负荷量

Figure 3 The quantities of animal excretion load on per unit field between intensive and household system of Hebei in 2004

地区 Area	规模养殖粪尿的单位面积 农田负荷量/ $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ Animal excretion field load per units of intensive breeding	农户散养粪尿的单位面积 农田负荷量/ $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ Animal excretion field load per units of household breeding
石家庄	27.3	18.1
唐山市	12.5	15.3
秦皇岛市	9.3	12.7
邯郸市	8.0	10.2
邢台市	6.2	6.7
保定市	7.1	8.5
张家口市	3.3	7.2
承德市	10.2	14.6
沧州市	5.9	4.4
廊坊市	17.1	6.3
衡水市	7.2	5.2

3 结论

(1)2004 年河北省各种畜禽的规模化饲养水平在不断提高,规模养殖下畜禽粪尿量占到总量的 49.6%,已基本接近农户散养水平。畜禽粪尿的不合

理处置造成了农田养分的过高负荷,其中规模养殖的贡献基本接近农户散养。

(2)河北省各地区的畜禽粪尿单位农田负荷差异较大,其中石家庄地区的农田负荷量最大,N、P 负荷占全省总负荷的 23%和 25%。为了维持环境质量,应当适当控制规模养殖场的数量,采取一定的措施减少石家庄地区的农田养分负荷量,才能保证土壤环境的良性发展。

(3)2004 年河北省各地区的单位耕地粪尿农田负荷量分布不平衡,石家庄、唐山、承德均已超过全国平均水平。唐山和承德的负荷量过大,两个地区的农户散养贡献率分别为 55%和 59%,可见农田的过量负荷很大程度上是由于农户散养造成的。对于如何发展河北省重点地区的畜禽养殖,协调规模养殖和散养的关系,应对两者带来不同的环境压力,将成为未来河北省畜牧业发展研究的重点。

4 讨论

(1)河北省作为畜牧业发展大省,畜禽产生的粪尿数量巨大,如果采用 30%作为规模化养殖下畜禽粪尿进入水体的比例,2004 年,规模化养殖进入水体的畜禽粪尿量已经接近散养,两者分别为 2 510 万 t 和 2 900 万 t,虽然散养对于水体的贡献要大于规模养殖,但畜禽规模化饲养程度的不断扩大势必会造成冲洗水的大量增加和粪尿养分通过径流、淋洗的方式进入水环境,并使之超过散养对水体的贡献率^[12-13]。石家庄的散养和规模养殖水体贡献均大于其他地区,分别占河北省总量的 19%和 27%;其次是唐山,两种养殖模式下粪尿的水体流失量也达到全省的 15%和 12%。从各个地区来看,规模养殖下粪尿的水体流失量比重又各不相同,石家庄、沧州、廊坊、衡水呈现一致的趋势,规模养殖的粪尿水体流失量占有较高的比重,这不仅与这些地区规模饲养数量多于散养数量有关,还与当地家禽的规模饲养比重大密切相关。因此,我们在控制散养畜禽粪尿排入水体的同时,还应看到规模养殖下的污染潜力;在减少散养污染严重地区的畜禽粪尿排入水体的同时,也应保证规模养殖比重大的地区的畜禽粪尿的合理处理。

(2)随着人口的增加、城镇化的不断扩大,传统的农户散养已经不能满足人们的需求,今后畜牧业必然是朝着集约化的方向发展,但农户散养还将长期存在。散养具有规模小、粪尿资源易于处理和利用等优点,然而专业知识缺乏、生产效率不高以及卫生问题

都制约着其发展。石家庄地区规模养殖程度最高,其污染潜力也最大,提高对粪尿的处理和利用能力,实现养分循环利用是保证该地区畜牧业可持续发展的必要措施。除此之外,适当的控制规模养殖的发展,使其按照稳定的发展速度前进也尤为重要。张家口地区独特的地貌类型决定了当地主要的畜禽种类,在该地区适当的提高规模养殖比重对于提高畜禽生产效率,快速发展畜牧业起着决定性的作用。在现有比例不变的条件下,2004年畜禽粪尿进入环境的数量达到16 861万t;如果全部实现规模化养殖,粪尿的环境排放量为16 899万t,因此,应正确看待农户散养和规模化养殖的地位,将养殖业和种植业相结合,从根本上提高畜禽粪尿的处理和利用效率,减少向环境的排放量。

参考文献:

- [1] 韩宇峰, 赵建生, 焦晓燕. 畜牧业生产过程中的养分流向及养分资源利用[J]. 山西农业科学, 2006, 34(4): 78-81.
HAN Yu-feng, ZHAO Jian-sheng, JIAO Xiao-yan. Animal nutrition flow in livestock production and nutrition resource utilization[J]. *Journal of Shanxi Agriculture Sciences*, 2006, 34(4): 78-81.
- [2] Mallin M A. Cahoon L B. Industrialized animal reduction—a major source of nutrient and microbial pollution to aquatic ecosystem[J]. *Population and Environment*, 2003, 24(5): 369-385.
- [3] Kumm K I. Ways to reduce nitrogen pollution from Swedish pork production[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 2003, 66: 285-293.
- [4] 苏秋红. 规模化养猪场饲料和粪便中铜含量分析及高铜猪粪对土壤的影响[D]. 山东: 山东农业大学, 2007.
SU Qiu-hong. Concentrations of copper in swine feeds and feces and the effects of manure with high concentration of copper on soil[D]. Shandong: Shandong Agriculture University, 2007.
- [5] 李帷, 李艳霞, 张丰松, 等. 东北三省畜禽养殖时空分布特征及粪便养分环境影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(6): 2350-2357.
LI Wei, LI Yan-xia, ZHANG Feng-song, et al. The spatial and temporal distribution feature of animal production in Three Northwest Provinces and the impacts of manure nutrients on the local environment[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(6): 2350-2357.
- [6] 河北省畜牧局. 2004年河北省畜牧业统计资料[M]. 河北: 河北省畜牧局, 2004.
Livestock bureau of Hebei. Hebei Livestock Statistical Report in 2004[M]. Hebei: Livestock bureau of Hebei, 2004.
- [7] 马林, 王方浩, 马文奇, 等. 中国东北地区中长期畜禽粪尿资源与污染潜势估算[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 170-174.
MA Lin, WANG Fang-hao, MA Wen-qi, et al. Assessments of the production of animal manure and its contribution to eutrophication in Northeast China for middle and long period[J]. *Transaction of the CSAE*, 2006, 22(8): 170-174.
- [8] 国家环境保护总局自然生态保护司. 全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
Environment Protect Bureau of China. Pollution investigate and prevention and cure of intensive livestock in China[M]. Beijing: Environment Science Publisher in China, 2002.
- [9] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分分志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
Agriculture technology Service Central in China. The Nutrient of Organic Fertilizer in China[M]. Beijing: China Agriculture Publisher, 1999.
- [10] 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 Fang-hao, MA Wen-qi, DOU Zheng-xia, et al. The estimation of the production amount of animal manure and its environmental effect in China[J]. *China Environmental Science*, 2006, 26(5): 614-617.
- [11] 马林, 王方浩, 刘东, 等. 河北省畜禽粪尿养分资源分布及其污染潜力分析[J]. 河北农业大学学报, 2006, 29(6): 99-103.
MA Lin, WANG Fang-hao, LIU Dong, et al. Assessment of the production of animal manure and its pollution potential in Hebei Province[J]. *Journal of Agriculture University of Hebei*, 2006, 29(6): 99-103.
- [12] 邓良伟. 规模化畜禽养殖废水处理技术现状探析[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 23-26.
DENG Liang-wei. Review on treatment technology of intensive livestock wastewater[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(2): 23-26.
- [13] 曹宁, 曲东, 陈新平, 等. 西北地区农田土壤氮、磷平衡及其对面源污染的贡献分析[J]. 西北农林科技大学学报, 2006, 34(7): 127-133.
CAO Ning, QU Dong, CHEN Xin-ping, et al. Analysis of the contribution to non-point pollution made by balanced fertilizer in Northwest China[J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forest*, 2006, 34(7): 127-133.