

## 中国畜禽粪便资源量评估的排泄系数取值

包维卿<sup>1,3</sup> 刘继军<sup>2</sup> 安捷<sup>2</sup> 谢光辉<sup>1,3\*</sup>

(1. 中国农业大学 农学院,北京 100193;

2. 中国农业大学 动物科技学院,北京 100193;

3. 国家能源非粮生物质原料研发中心,北京 100193)

**摘要** 为探究不同畜禽粪便的日排泄系数的合理取值,以便评估中国畜禽粪便资源量。本研究分析比较全国各个地区相关的研究报告,结果表明,以全国为整体对畜禽排泄系数取值差异很大,除奶牛为 13.53%外,对其他各种畜禽排泄系数取值的变异系数范围为 16.18%~40.02%。在基于地区研究的取值中,主要畜禽排泄系数取值的差异也很大,如在华北、东北、华东、中南和西南 5 个地区对猪排泄系数取值的变异系数范围为 28.31%~45.88%。这主要因为多数研究不加甄别引用他人文献取值,引用可靠实测数据较少,没有给出原因将若干前人数据进行平均取值较多。本研究应用前人可信报道和实测的数据,对猪、奶牛和蛋鸡的排泄系数按 6 个地区结合种群结构进行取值,对役用牛、肉牛、肉鸡和鸭鹅的排泄系数按 6 个地区进行取值,对羊、马、驴、骡、骆驼和兔按全国进行取值,获得一组目前最合理的畜禽排泄系数取值,并建议加强研究以建立一套完整排泄系数取值的标准规范。

**关键词** 生物质; 畜禽粪便; 排泄系数; 产污系数; 地区; 种群结构

中图分类号 S513

文章编号 1007-4333(2018)05-0001-14

文献标志码 A

## Value-taking of livestock and poultry excreta factor in China

BAO Weiqing<sup>1,3</sup>, LIU Jijun<sup>2</sup>, AN Jie<sup>2</sup>, XIE Guanghui<sup>1,3\*</sup>

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

3. National Energy R&D Center for Non-food Biomass, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract** To explore the reasonable value-taking of different livestock and poultry excreta factor (EF) and assess the resource of livestock and poultry excrement resource in China, the related conclusions of previous researchers are summarized in this study. The results show that the differentiation of value-taking on nationwide is very big. In addition to the dairy cow is 13.53%, the EF variable coefficient of other livestock and poultry ranges from 16.18 to 40.02. The EF variable coefficient of value-taking based on regional research is also big, e.g. the EF variable coefficients of pig in North China, Northeast China, East China, Central south China and Southeast China range from 28.31% to 45.88%. This is mainly because of most researches quoting other's value without discrimination, the lack of reliable data based on experiment and averaging of others' values without any reasons. This review quotes reliable values and data based on experiment, determines the EF value of pig, dairy cow and layer by six regions as well as its' population structure, determines the EF value of draft cattle, beef cattle, broiler chicken, duck and goose by six regions, determines the EF value of sheep, horse, donkey, mule, camel and rabbit in nationwide, then obtains a group of most reasonable EF value. Strengthening the research to establish an integrated standard of EF value-taking is proposed in this review.

**Keywords** biomass; livestock and poultry excreta; excreta factor; pollutant excretion coefficient; region; population structure

收稿日期: 2017-05-16

基金项目: 中国清洁发展机制基金赠款项目(2014083)

第一作者: 包维卿, 硕士研究生, E-mail: baowq@cau.edu.cn

通讯作者: 谢光辉, 教授, 主要从事非粮能源植物和生物质原料研究, E-mail: xiegh@cau.edu.cn

准确评估畜禽粪便资源量是促进环境污染控制及循环利用产业化发展的基础。但是,一直以来,前人对中国畜禽粪便资源量估算结果差异较大。为此,本系列研究曾报道讨论并完善畜禽粪便相关概念及参数和系数的定义以及计算公式<sup>[1]</sup>,同时在全面分析前人研究的基础上对年饲养周期、含水率和养殖规模化系数等进行更合理的取值<sup>①</sup>。畜禽排泄系数取值的差异是导致畜禽粪便资源量估算结果差异的主要原因<sup>[1-3]</sup>。畜禽粪便的日排泄系数是畜禽粪便资源量评估的基础,然而长久以来前人研究中对该系数的取值不尽合理。本研究通过分析前人对各种畜禽粪便排泄系数取值差异性的研究,进而确定更为合理的取值。以期为建立完整排泄系数取值的标准规范奠定基础,用于指导畜禽粪便污染物控制及其循环利用。

## 1 数据来源

本研究中,畜禽粪便的研究范围参照前一研究报道<sup>[1]</sup>,综合主流年鉴<sup>[4-7]</sup>中包含的所有畜禽种类:猪、牛(役用牛、肉牛和奶牛)、羊、马、驴、骡、兔和家禽(肉鸡、蛋鸡、鸭和鹅)。本研究的数据主要来源于以下4个方面。

### 1.1 查阅文献

查阅国内外近20余年发表的有关畜禽粪便研究相关的原创文献以及公开出版的书籍资料,总结前人对于畜禽粪便排泄系数在全国和各地区范围内的取值,并分析其差异性。

### 1.2 咨询管理机构

通过咨询、走访畜禽粪便相关主管部门,了解畜禽粪便管理方面的政策,获取未完全向社会公开的数据资料。

### 1.3 咨询专家

联系并走访高校和科研院所和行业协会领域的专家学者,对有关畜禽排泄系数的问题进行咨询与交流。

### 1.4 实地调研

根据查询到的文献书籍设计调查问卷,主要内容包国内畜禽粪便资源产生与处理的现状,实地走访调研生产一线的畜禽养殖场进行面对面调研。

## 2 结果分析

### 2.1 前人研究对排泄系数取值

#### 2.1.1 以全国为整体取值

以全国对畜禽排泄系数进行取值汇总见表1。可以看出,11份文献对同一畜禽种类排泄系数的取值差异很大,除奶牛为13.53%外,对其他各种畜禽排泄系数取值的变异系数范围为16.18%~40.02%。根据统计学理论,变异系数>15%就属于不正常数据。这差异有18年间畜禽养殖技术提高导致排泄量变化的原因,但属于次要原因,主要是由于研究者取值误差所导致的。这11份文献中共有8份用所取值估算中国及各省市区的畜禽粪便的产量,排泄系数如此大的差异必然导致对资源量评估结果的很大差异<sup>[1]</sup>。

中国幅员辽阔,不同地区气候和生态条件差异很大,导致不同地区间畜禽生产及其排泄量差异很大。可想而知,以全国为整体对畜禽排泄系数取值难度很大,所取值也不可能符合全国不同地区的实际情况。已有前人对主要畜禽的排泄系数取值分为6个大区(包括华北区、东北区、华东区、中南区、西南区和西北区)进行研究,其中,华北区包括北京、天津、河北、山西和内蒙古;东北区包括辽宁、吉林和黑龙江;华东区包括上海、江苏、浙江、安徽、福建、江西和山东;中南区包括河南、湖北、湖南、广东、广西和海南;西南区包括重庆、四川、贵州、云南和西藏;西北区包括陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆。因此,建议今后研究者尽可能不再应用以全国为整体的畜禽排泄系数取值。

#### 2.1.2 按畜禽种群结构取值

动物不同生长阶段的排泄量差异也很大,不同饲养阶段的比例构成就是畜禽的种群结构,也是排泄系数取值应考虑的重要因素。在表1中只有少数文献<sup>[8,12]</sup>指明其所取值对象为成年动物(如出栏猪和成牛等),多数没有指明动物生长阶段。2009年中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所等<sup>[17]</sup>提出了猪、奶牛和蛋鸡不同饲养阶段的排泄系数(原文为产污系数,两者是相同概念<sup>[1]</sup>) (表2)。尽管没有说明这套数据的来源,但由于组

① 包维卿,谢光辉. 中国畜禽粪便资源量评估的参数取值[J]. 中国农业科学,2018,(待发表)

织者的权威性,其可靠性应该是较高的,被很多研究<sup>[2,14]</sup>所引用。但是,可能限于当时缺乏试验,个别数据的可靠性不高,例如,在中南和西南地区,对蛋鸡的“育雏育成”和“产蛋”两阶段的排泄系数都取值相同是不合适的。本研究在此进行改进,

默认蛋鸡的两饲养阶段的排泄系数之和是正确的,再分别用华北、东北、华东和西北每个饲养阶段的排泄系数的总和,计算求得 2 个阶段排泄系数之比值,以这个比值求得中南和西南两饲养阶段排泄系数。

表 1 1997—2015 年全国对畜禽排泄系数的取值汇总及差异性分析

Table 1 Summarization and differentiation analysis of previous researchers' EF value-taking in China from 1997 to 2015

文献 Literature	猪 Pig	牛 Cattle	役用牛 Draft cattle	肉牛 Beef cattle	奶牛 Dairy cow	羊 Sheep	马 Horse	驴骡 Donkey & mule	兔 Rabbit	禽类 Poultry	肉鸡 Broiler chicken	蛋鸡 Layer	鸭鹅 Duck & goose
[8]	5.67			41.00	60.00	2.66	22.50				0.09	0.15	0.10 a
[9]	9.37	23.84				1.73	14.35	8.47	0.16		0.07	0.07	0.16 b
[10]	5.30	30.00				2.60					0.12	0.12	0.13 c
[11]	5.30		27.67	21.10	53.15	2.38	16.16	13.70	0.11		0.10	0.15	0.11
[12]	5.80			41.00	60.00	1.35	8.50				0.13	0.15	0.14 a
[2]			44.67			2.38	19.04	16.58	0.11				0.11
[13]	3.50			23.00	45.00	2.00					0.10	0.10	
[3]	9.25		34.99	34.99	41.10	3.60	13.90	7.68	0.12		0.10	0.15	0.12
[14]						0.87	5.90	5.00	0.15				
[15]	5.30		27.60	20.60	53.20	2.40					0.10	0.20	
[16]	5.30		27.60	20.60	53.20	2.40				0.10			
样本数量 Sample size	9	2	5	7	7	11	7	5	5	1	8	8	7
平均值/ (kg/d) Mean	6.09	26.92	32.51	28.90	52.24	2.22	14.34	10.29	0.13	0.10	0.10	0.14	0.12
标准差/ (kg/d) Standard deviation	1.94	4.36	7.51	9.69	7.07	0.72	5.74	4.72	0.02		0.02	0.04	0.02
变异系数/ % Variable coefficient	31.92	16.18	23.11	33.53	13.53	32.63	40.02	45.94	18.04		17.85	28.81	16.66

注:a,原文为肉鸭;b,原文鸭为 0.132 kg/d,鹅为 0.194 kg/d,此处取平均;c,原文为鸭。

Note:a,Only duck for meat in the cited literature;b,0.132 kg/d for duck and 0.194 kg/d for goose in the cited literature,mean value is selected here;c,Only duck in the cited literature.

表 2 以不同地区对主要畜禽不同养殖阶段排泄系数的实测取值<sup>a</sup>  
Table 2 Previous researchers' experimental EF value-taking for different region and feeding stage

地区 Region	省(市、 自治区) Province (Municipalities and autonomous regions)	猪 Pig			奶牛 Dairy cow			蛋鸡 Layer		实测时间 Test time	文献 Literature
		保育期 Nursery	育肥期 Fattening	妊娠期 Gestation	育成期 Replacement	泌乳期 Lactation	育雏育成 Brood bred	产蛋 Egg producing			
华北	北京	2.57	4.56	6.31						周年 4 个季节	[18]
North China	(无)	2.27	3.95	5.62	23.02	46.05	0.08	0.17			[17]
东北	黑龙江				23.00	49.81				春夏秋冬	[19]
Northeast	(无)	2.15	5.06	8.11	22.90	48.49	0.06	0.10			[17]
华东	江苏	2.33	3.71	7.53						2011 年不同季节	[20]
East China	浙江	1.74	4.65	7.96						2007—2008 年秋冬春夏	[21]
	江苏				21.18	52.96				2008 年春夏秋冬	[22]
	(无)	1.56	3.67	6.64	21.89	46.84	0.07	0.15			[17]
中南	河南				23.22	44.34				周年 4 个季节	[23]
Central south	(无)	2.49	4.36	7.33	27.63	50.99	0.12	0.12			[17]
	(无)						0.08	0.16			本研究
西南	四川	2.10	4.26	6.61						春夏秋冬	[24]
Southwest	(无)	1.83	4.42	5.89	21.90	46.84	0.12	0.12			[17]
	(无)						0.08	0.16			本研究
西北	(无)	2.61	4.00	5.53	17.00	31.39	0.06	0.10			[17]
Northwest											

注: a, 原文为产污系数, 取其粪便和尿液量之和。

Note: a, pollutant producing coefficient with the sum of feces and urine in the cited literature.

近几年,还有以周年(春夏秋冬)实测方式的 7 份报道,在除西北地区外其他 5 个不同地区,也对猪和奶牛的排泄系数进行了测定,丰富了主要畜禽不同饲养期的排泄系数数据(表 2)。

2.1.3 以不同地区取值

中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所等<sup>[17]</sup>最早按 6 个地区对猪、肉牛、奶牛、肉鸡和蛋鸡的排泄系数取值。林源等<sup>[2]</sup>和耿维等<sup>[14]</sup>先后应用该报道每个地区的猪、奶牛和蛋鸡不同饲养阶段的排泄系数,以饲养阶段天数为权重对每个动物整个生长阶段进行平均法取值。相比而言,林源等<sup>[2]</sup>取值较为准确(表 3 和表 4),耿维等<sup>[14]</sup>取值应用的权重较为粗略,还综合了前人研究结果,对役用牛和鸭

鹅按 6 个地区进行了取值。

此外,还有很多研究报道了对某一特定地区的不同畜禽排泄系数取值(表 3 和表 4)。在同一地区内,由于取值来源多样,尤其是很多取值是引用前人按全国或其他所研究区域外的数据,又将不同报道的数据进行平均取值,导致对大多数畜禽种类的取值差异也很大,如在华北、东北、华东、中南和西南 5 个地区对猪排泄系数取值的变异系数范围为 28.31%~45.88%。少数禽畜种类排泄系数取值差异小,多由于养殖规模小、被研究报道少而导致样本量小(表 5)。可见对于按地区取值也需要规范化,否则,尽管按地区研究畜禽粪便,其结果的可信度也可能不高。

表 3 按不同地区对猪、羊和禽类排泄系数取值的汇总

Table 3 Summarization of previous researchers' EF value-taking on pig, sheep and poultry for different regions kg/d

省(市、区) Province	地区 Region	猪 Pig	羊 Sheep	禽类 Poultry	肉鸡 Broiler chicken	蛋鸡 Layer	鸭鹅 Duck & goose	是否按 饲养期 Whether take rearing period into consideration	取值来源 Source	文献 Literature
华北 North China	(无)	3.03 a				0.16		是	前人本区可靠数据	[2]
	(无)	3.40 a					0.12 b	是	前人本区可靠数据	[14]
	(无)				0.12			否	可靠来源	[17]
	北京	3.93 c						是	实测	[18]
	北京	8.41	2.94		0.1	0.12	0.13 d	是	前人非本区数据	[25]
	北京	5.76	3.01		0.06	0.12	0.11 e	不详	不详	[26]
	河北	9.08	2.51		0.08	0.14	0.12	不详	前人非本区数据	[27]
	内蒙古	4.00	1.50	0.10				不详	不详	[28]
东北 Northeast	(无)	3.51 a				0.09		是	前人本区可靠数据	[2]
	(无)	4.10 a				0.10	0.18 eb	是	前人本区可靠数据	[14]
	(无)				0.18			否	可靠来源	[17]
	(无)	5.30	2.38		0.10	0.15	0.11	不详	前人非本区数据	[29]
	黑龙江	2.90	2.60	0.07				不详	前人非本区数据	[30]
	黑龙江	5.85	2.60	0.48				不详	前人非本区数据	[31]
华东 East China	(无)	2.57 a				0.15		是	前人本区可靠数据	[2]
	(无)	2.97 a				0.15	0.22 b	是	前人本区可靠数据	[14]
	(无)				0.22			否	可靠来源	[17]
	上海	2.10	2.60		0.01	0.15	0.01 e	不详	前人非本区数据	[32]
	(无)	5.10			0.15 e	0.08 f		不详	前人非本区数据	[33]
	福建	2.07	3.29	0.07				不详	前人非本区数据	[34]
	江苏	4.86	2.43		0.14	0.13	0.16 g	是	实测	[35]
	江苏		1.09					是	实测	[36]
	江苏	3.40 c						是	实测	[20]
	浙江	3.76 c						是	实测	[21]
山东	5.67	4.80		0.09	0.15	0.10	不详	前人非本区数据	[37]	
山东	2.97	2.23		0.22	0.15	0.15	不详	前人非本区数据	[38]	

表3(续)

地区 Region	省(市、区) Province (Municipalities and autonomous regions)	猪 Pig	羊 Sheep	禽类 Poultry	肉鸡 Broiler chicken	蛋鸡 Layer	鸭鹅 Duck & goose	是否按 饲养期 Whether take rearing period into consideration	取值来源 Source	文献 Literature
中南 Central south	(无)	3.24 a				0.12		是	前人本区可靠数据	[2]
	(无)	3.74 a				0.12	0.06 b	是	前人本区可靠数据	[14]
	(无)				0.06			否	可靠来源	[17]
	河南	6.45	1.00		0.11	0.11		不详	前人非本区数据	[39]
	广西	5.30	2.38		0.10	0.15		不详	前人非本区数据	[40]
	湖北	3.74	2.38	0.09					前人非本区数据	[41]
西南 Southwest	(无)	2.97 a				0.12		是	前人本区可靠数据	[2]
	(无)	3.57 a				0.12	0.06 eb	是	前人本区可靠数据	[14]
	(无)				0.06			否	可靠来源	[17]
	重庆	7.00	2.6		0.08 <sup>e</sup>	0.15 <sup>f</sup>	0.08 <sup>b</sup>	不详	调查	[42]
	四川	3.60 c						是	实测	[24]
	四川	5.30	2.60		0.10	0.15	0.11	不详	前人非本区数据	[43]
西北 Northwest	(无)	3.14 a				0.09		是	前人本区可靠数据	[2]
	(无)	3.54 a				0.10	0.18 b	是	前人本区可靠数据	[14]
	(无)				0.18			否	可靠来源	[17]
	甘肃	2.79	1.64		0.01	0.01		是	前人非本区数据	[44]

注:a,原文基于文献[17]将保育、育肥和妊娠3个时期的排泄系数按饲养期加权平均获得;b,原文为肉禽;c,本研究按原文保育、育肥和妊娠3个时期的排泄系数按饲养期加权平均获得;d,原文为鸭;e,原文为肉鸭;f,原文为蛋禽;g,原文鸭为0.13 kg/d,鹅为0.18 kg/d,此处取二者平均值。

Note:a,the data in original paper is based on weighted average of nursery,fattening,and gestation period of pig,according to reference[17]; b,the original is poultry for meat;c,the data in this paper is calculated by weighted average of nursery,fattening,and gestation period of pig;d,the original is duck;e,the original is duck for meat;f,The original is poultry for laying;g,duck is 0.13 kg/d and goose are 0.18 kg/d,mean value is selected here.

表4 按不同地区对牛、马、驴骡和兔排泄系数取值的汇总

Table 4 Summary of previous researchers' EF value-taking on cattle,horse,donkey,mule and rabbit for different regions kg/d

地区 Region	省(市、区) Province (Municipalities and autonomous regions)	役用牛 Draft cattle	肉牛 Beef cattle	奶牛 Dairy cow	马 Horse	驴骡 Donkey & mule	兔 Rabbit	是否按 饲养期 Whether take rearing period into consideration	取值来源 Source	文献 Literature
华北 North China	(无)			37.99 a				是	前人本区可靠数据	[2]
	(无)	23.02		46.05 a				是	前人本区可靠数据	[14]
	(无)		22.10					否	可靠来源	[17]
	北京		34.98	59.90				是	前人非本区数据	[25]
	北京		22.19	39.45					不详	[26]
	河北	34.99	34.99	41.10	13.90	7.68	0.12		前人非本区数据	[27]
	内蒙古	20.00			15.00	15.00			不详	[28]

表 4(续)

省(市、区) Province 地区 (Municipalities and autonomous regions)	役用牛 Draft cattle	肉牛 Beef cattle	奶牛 Dairy cow	马 Horse	驴骡 Donkey & mule	兔 Rabbit	是否按 饲养期 Whether take rearing period into consideration	取值来源 Source	文献 Literature	
东北 Northeast	(无)		22.67		39.53		是	前人本区可靠数据	[2]	
	(无)	22.90	22.67		48.49 a		是	前人本区可靠数据	[14]	
	(无)		21.10				否	可靠来源	[17]	
	(无)	27.67			53.15 a	16.16	13.70	0.11	前人非本区数据	[29]
	黑龙江	30.00							前人非本区数据	[30]
	黑龙江					39.35 b		是	实测	[19]
华东 East China	(无)				38.11 a		是	前人本区可靠数据	[2]	
	(无)	21.90			46.84 a		是	前人本区可靠数据	[14]	
	(无)		23.71				否	可靠来源	[17]	
	(无)	48.00							前人非本区数据	[33]
	上海				48.00		0.15		前人非本区数据	[32]
	福建	48.00					0.20		前人非本区数据	[34]
	江苏		17.78	41.6				是	实测	[35]
	江苏			40.57 b				是	实测	[22]
	江苏						0.37	是	实测	[36]
山东		35.00	40.00			0.15		前人非本区数据	[37]	
山东	21.90	23.71	46.84			0.13		前人非本区数据	[38]	
中南 Central south	(无)				42.81 a		是	前人本区可靠数据	[2]	
	(无)	27.63			50.99 a		是	前人本区可靠数据	[14]	
	(无)		23.02				否	可靠来源	[17]	
	河南		17.22	32.67			0.12		前人非本区数据	[39]
	河南			36.10 <sup>b</sup>				是	实测	[23]
	广西	53.15	21.10	53.15					前人非本区数据	[40]
	广西		21.77					否	实测	[45]
湖北	27.63	23.02	50.99	16.16	13.70 c	0.11		前人非本区数据	[41]	
西南 Southwest	(无)				38.11 a		是	前人本区可靠数据	[2]	
	(无)	21.90			46.84 a		是	前人本区可靠数据	[14]	
	(无)		20.42				否	可靠来源	[17]	
	重庆	35.00	35.00	35.00	15.00		0.15		不详	[42]
	重庆	30.00	30.00	30.00			0.11		前人非本区数据	[43]
西北 Northwest	(无)				26.35 a		是	前人本区可靠数据	[2]	
	(无)	17.00			31.39 a		是	前人本区可靠数据	[14]	
	(无)		20.42				否	可靠来源	[17]	
	甘肃	40.00					是	前人非本区数据	[44]	

注：a,原文基于文献[17]将育成和泌乳 2 个时期的排泄系数按饲养期加权平均获得；b,基于原文育成和泌乳 2 个时期的排泄系数按饲养期加权平均获得；c,原文为驴。

Note: a, the data in original paper is based on weighted average of replacement and lactation period of dairy cow, according to reference[17]; b, the data in this paper is calculated by weighted average of replacement and lactation period of dairy cow; c, the original is donkey only.

表5 按不同地区对畜禽排泄系数取值的差异性分析

Table 5 Differentiation analysis of previous researchers' EF value-taking by different regions

地区 Region	指标 Index	猪 Pig	役用牛 Draft cattle	肉牛 Beef cattle	奶牛 Dairy cow	羊 Sheep	马 Horse	驴骡 & Donkey & mule	兔 Rabbit	肉鸡 Broiler chicken	蛋鸡 Layer	鸭鹅 Duck & goose
华北 North China	样本量 Sample size	7.00	2.00	4.00	5.00	4.00	2.00	2.00	1.00	4.00	5.00	4.00
	平均值/(kg/d) Mean	5.37	29.01	28.57	44.90	2.49	14.45	11.34	0.12	0.09	0.14	0.12
	标准差/(kg/d) Standard deviation	2.47	8.46	7.41	8.92	0.70	0.78	5.18	0.03	0.03	0.02	0.01
	变异系数/% Variable coefficient	45.88	29.18	25.95	19.87	27.95	5.38	45.64	28.69	16.06	6.80	6.80
东北 Northeast	样本量 Sample size	5.00	2.00	3.00	4.00	3.00	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	2.00
	平均值/(kg/d) Mean	4.33	25.29	22.15	45.13	2.53	16.16	13.70	0.11	0.14	0.11	0.15
	标准差/(kg/d) Standard deviation	1.23	3.37	0.91	6.84	0.13	0.06	0.03	0.06	0.03	0.03	0.05
	变异系数/% Variable coefficient	28.32	13.34	4.09	15.16	5.03	40.41	28.36	34.14	40.41	28.36	34.14
华东 East China	样本量 Sample size	10.00	2.00	4.00	7.00	6.00	0.00	0.00	5.00	6.00	7.00	5.00
	平均值/(kg/d) Mean	3.55	21.90	25.05	43.14	2.74	0.20	0.14	0.12	0.14	0.12	0.13
	标准差/(kg/d) Standard deviation	1.27	0.00	7.20	3.98	1.24	0.10	0.08	0.10	0.08	0.04	0.08
	变异系数/% Variable coefficient	35.92	0.00	28.74	9.23	45.13	49.24	58.09	33.47	61.37	33.47	61.37
中南 Central south	样本量 Sample size	5.00	3.00	5.00	6.00	3.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	1.00
	平均值/(kg/d) Mean	4.49	36.14	21.23	44.45	1.92	16.16	13.70	0.12	0.09	0.13	0.06
	标准差/(kg/d) Standard deviation	1.34	14.73	2.39	8.63	0.80	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.03
	变异系数/% Variable coefficient	29.82	40.77	11.25	19.42	41.50	6.15	29.40	13.86	29.40	13.86	13.86
西南 Southwest	样本量 Sample size	5.00	3.00	3.00	4.00	2.00	1.00	0.00	2.00	3.00	4.00	3.00
	平均值/(kg/d) Mean	4.49	28.97	28.47	37.49	2.60	15.00	0.00	0.13	0.08	0.14	0.08
	标准差/(kg/d) Standard deviation	1.65	6.61	7.41	7.07	0.00	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03
	变异系数/% Variable coefficient	36.79	22.82	26.02	18.87	0.00	21.76	25.00	12.83	30.20	12.83	30.20
西北 Northwest	样本量 Sample size	3.00	1.00	1.00	2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	2.00	3.00	1.00
	平均值/(kg/d) Mean	3.16	17.00	20.42	28.87	1.64	0.10	0.07	0.18	0.10	0.07	0.18
	标准差/(kg/d) Standard deviation	0.38	3.56	12.34	12.34	12.34	12.34	12.34	12.34	12.34	12.34	12.34
	变异系数/% Variable coefficient	11.89	20.71	60.43	42.73	75.24	12.34	12.34	12.34	12.34	12.34	12.34

注:差异性分析基于表3和表4的数据。

Note: Differentiation analysis is based on the data in Tables 3 and 4.



## 2.2 确定排泄系数的取值

### 2.2.1 以不同地区和种群结构对猪、奶牛和蛋鸡排泄系数的取值

本研究在前人<sup>[2,14,17]</sup>对主要畜禽以不同地区、不同饲养阶段取值的研究成果基础上,进一步更新和完善排泄系数取值。首先对于猪和奶牛按完整的种群结构进行取值(表 6),将各类种群的猪划分为保育、育肥和妊娠 3 类,将各类种群的奶牛划分为育成和产奶 2 类,对蛋鸡仍按原文献<sup>[17]</sup>分为育雏育成和产蛋鸡 2 个饲养阶段。然后按种群结构比例进行

加权平均获得排泄系数。最后,基于林源等<sup>[2]</sup>、耿维等<sup>[14]</sup>和中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所等<sup>[17]</sup>的数据,以不同饲养期排泄系数的猪<sup>[20-21,35]</sup>、奶牛<sup>[19,22-23,35]</sup>和蛋鸡<sup>[35,42]</sup>实测数据,对不同地区进行更新取值。由于林源等<sup>[2]</sup>基于中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所等<sup>[17]</sup>的数据结合饲养阶段进行了更合理的取值,本研究保留林源等<sup>[2]</sup>取值,在每一个地区将实测数据与林源等<sup>[2]</sup>的数据进行平均获得更新取值(表 7),对于没有实测数据的畜禽仍按林源等<sup>[2]</sup>取值。

表 6 猪和奶牛规模养殖的种群结构

Table 6 Population structure of commercial-scale husbandry pig and dairy cow %

猪 Pig			奶牛 Dairy cow		
饲养阶段 <sup>a</sup>	种群结构 <sup>b</sup>	占比	饲养阶段 <sup>a</sup>	种群结构 <sup>c</sup>	占比
Feeding stage	Population structure	Proportion	Feeding stage	Population structure	Proportion
保育猪	哺乳仔猪	18.4	育成牛	哺乳期犊牛	6.4
	断奶仔猪	17.4		断奶期犊牛	6.3
	小计	35.8		育成牛	14.4
育肥猪	分娩哺乳母猪	2.4	产奶牛	存栏青年牛	11.9
	空怀母猪	2.3		小计	39.0
	后备母猪	0.6	产奶牛	产犊牛	6.6
	育肥猪	53.7		干乳牛	7.0
	公猪	0.4		泌乳牛	47.4
	后备公猪	0.0		小计	61.0
妊娠猪	小计	59.4	总计	100.0	
	妊娠母猪	4.7			
	小计	4.7			
	总计	100.0			

注:a,参照文献<sup>[17]</sup>;b,猪养殖规模基于年出栏 $\geq 10\ 000$ 头;c,肉牛养殖规模基于基础母牛 $\geq 3\ 000$ 头。

Note:a, refer to <sup>[17]</sup>; b, the scale of pig farm is more than 10 000 slaughter quantity per year; c, the scale of beef cattle farm is more than 3 000 basic female beef cattle.

### 2.2.2 以不同地区对役用牛、肉牛、肉鸡和鸭鹅排泄系数的取值

对于役用牛、肉牛、肉鸡和鸭鹅,或者是种群结构较为单一,或者是养殖批次频繁,至今未见按种群结构对排泄系数的取值研究,因此,本研究仍按役用牛的成牛、肉牛的育肥牛、肉鸡和鸭鹅的商品类型进行

取值。首先保留了耿维等<sup>[14]</sup>以不同地区对役用牛和鸭鹅的排泄系数合理取值(表 7)。其次,对于肉牛和肉鸡仍基于中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所等<sup>[17]</sup>的数据,结合实测数据进行更新,在每一个地区将实测数据与原数据<sup>[2]</sup>进行平均获得更新取值,对于没有实测数据的畜禽则按原来取值<sup>[2]</sup>(表 7)。

表7 按不同地区对猪、牛、肉鸡和鸭鹅排泄系数的取值

Table 7 EF value-taking of pig,cattle,broiler chicken,duck and goose by different regions determined in this paper

地区 Region	取值 & 文献 Value taking & Source	按种群结构			未按种群结构			
		According to population structure			Not according to population structure			
		猪 Pig	奶牛 Dairy cow	蛋鸡 Layer	役用牛 Draftcattle	肉牛 Beef cattle	肉鸡 Broiler chicken	鸭鹅 Duck & goose
华北 North China	取值/(kg/d) Value 文献 Source	3.48 [2,18]	37.99 [2]	0.16 [2]	23.02 [14]	22.10 [17]	0.12 [17]	0.12 [14]
东北 Northeast	取值/(kg/d) Value 来源文献 Source	3.51 [2]	39.44 [2,19]	0.09 [2]	22.90 [14]	22.67 [2]	0.18 [17]	0.18 [14]
华东 East China	取值/(kg/d) Value 文献 Source	3.65 [2,20-21,35]	40.09 [2,22,35]	0.14 [2,35]	21.90 [14]	20.75 [17,35]	0.18 [17,35]	0.19 [14,35]
中南 Central south	取值/(kg/d) Value 文献 Source	3.24 [2]	39.46 [2,23]	0.12 [2]	27.63 [14]	22.40 [17,45]	0.06 [17]	0.06 [14]
西南 Southwest	取值/(kg/d) Value 文献 Source	3.29 [2]	38.11 [2]	0.14 [2,42]	21.90 [14]	20.42 [17]	0.07 [17,42]	0.07 [14,42]
西北 Northwest	取值/(kg/d) Value 文献 Source	3.14 [2]	26.35 [2]	0.09 [2]	17.00 [14]	20.42 [17]	0.18 [17]	0.18 [14]

注:对猪、奶牛和蛋鸡取值基于林源等<sup>[2]</sup>,对役用牛和鸭鹅基于耿维等<sup>[14]</sup>,对于肉牛和肉鸡基于中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所等<sup>[17]</sup>,以在每个地区对不同饲养期实测数据来源文献(表3和表4)进行更新取值,即2个或2个以上来源文献的排泄系数取平均值。

Note:The data of pig,dairy cow,and layer is based on Linyuan,et al.<sup>[2]</sup>,the data of draft cattle,duck,and goose is based on Gengwei,et al.<sup>[14]</sup>,the data of beef cattle and broiler chicken is based on Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences<sup>[17]</sup>,according to the data obtained from field survey in literatures (Tables 3 and 4) to update EF value in different regions,take the mean value if it has two or more source literatures.

### 2.2.3 对羊、马、驴、骡、骆驼和兔按全国进行排泄系数的取值

由于羊、马、驴、骡、骆驼和兔饲养量较少,截止目前,很少报道这些牲畜排泄系数的实测结果,只能按全国进行统一取值。对羊的排泄系数取值共有29篇文献,其中2/3(19篇)的结果均处于2.0~3.0 kg/d(表1和表4)。其中,多数引用了王方浩等<sup>[11]</sup>取值,其取值虽然可靠,但是,为了更加符合生产实际,本研究根据查得的实测数据<sup>[35-36,42]</sup>和王方浩等<sup>[11]</sup>的数据进行平均后得到羊的排泄系数为2.25 kg/d(表7)。关于马排泄系数取值共有12篇文献,其中有9篇取值处于13.90~19.04 kg/d,仍

采用王方浩等<sup>[11]</sup>推荐的16.16 kg/d。大部分文献将驴骡合在一起对排泄系数取值,宜采用张田等<sup>[3]</sup>推荐的13.9 kg/d(表8)。目前,尚无前人对骆驼的排泄系数进行研究,由于成年骆驼的体重在500 kg以上<sup>[46]</sup>,与成年役用牛体重和用途相近,并且基本上分布在我国西北地区,故以表7中西北地区的役用牛排泄系数代表骆驼的排泄系数,将其确定为17 kg/d。尽管前人研究对兔粪便的排泄系数多取值为0.11或0.12 kg/d,但其来源大多不详,只有郭德杰等<sup>[36]</sup>在江苏省采用了实际测量,其来源较为可靠。因此,本研究采用郭德杰等<sup>[36]</sup>的结果,将兔的排泄系数确定为0.37 kg/d。

表8 本研究确定的以全国对羊、马、驴、骡、骆驼和兔排泄系数的取值  
Table 8 EF value-taking of sheep, horse, donkey, mule, camel and rabbit  
by nationwide determined in this paper

取值 & 文献 Value taking & Source	羊 Sheep	马 Horse	驴 Donkey	骡 Mule	骆驼 Camel	兔 Rabbit
取值/(kg/d) Value	2.25	16.16	13.90	13.90	17.00	0.37
文献 Source	[11,35-36,42]	[11]	[3]	[3]	[14]	[36]

注：本表均未按种群结构取值；对羊按来源文献中的排泄系数取平均值。

Note: Population structure isn't taken into consideration in this table; Taking the mean value from source literatures as EF of sheep.

### 3 结论

#### 3.1 畜禽排泄系数取值复杂而研究较薄弱

畜禽的排泄系数与畜禽种类、品种、性别、生长期、饲料和天气条件等因素有关<sup>[47]</sup>，而且，也一定和饲养地区与饲养规模有关。中国是个大国，各地区差异很大，不同畜禽的饲养规模差异也很大。前人研究中仅有较少的文献对少数畜禽按地区和饲养阶段确定排泄系数，当前很难对畜禽的排泄系数进行精准取值。

#### 3.2 前人取值不规范导致畜禽粪便资源研究结果可信度低

本研究发现前人取值多数是引用他人文献，引用实测获得的数据较少，这样传递式的引用，既不加甄别也没有溯源，而且不少报道没有给出原因的将若干前人数据进行平均取值，导致排泄系数差异很大。很多基于特定地区的研究，大多数引用前人非本区数据，不同区的取值显然这无法代表本地区的生产实际状况。这样，虽然前人对畜禽粪便资源进行大量研究报道，但其结果差异大，多数报道的可信度低。

#### 3.3 对排泄系数取值进行更新和完善

本研究在前人研究的基础上，对畜禽排泄系数在各地区和各饲养阶段进行系统的研究与总结，对畜禽排泄系数取值进行溯源分析，甄别出可靠报道和实测的数据，对所有畜禽排泄系数的取值进行完善和更新。具体地，对猪、奶牛和蛋鸡的排泄系数按6个地区结合种群结构取值，对役用牛、肉牛、肉鸡和鸭鹅的排泄系数按6个地区取值，对羊、马、驴、骡、骆驼和兔按全国进行了取值。

#### 3.4 展望

建议加强畜禽粪便资源量评估的研究，建立一

套完整排泄系数取值的标准规范。同时，建议今后研究者引用排泄系数取值一定要甄别，对能按地区取值的就不能按全国统一取值，逐渐杜绝排泄系数引用中的不规范的现象。

### 参考文献 References

- [1] 谢光辉,包维卿,刘继军,安捷.中国畜禽粪便资源研究述评[J].中国农业大学学报,2018,23(4):75-87  
Xie G H, Bao W Q, Liu J J, An J. An overview of researches on livestock and poultry excreta resource in China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2018, 23(4): 75-87 (in Chinese)
- [2] 林源,马骥,秦富.中国畜禽粪便资源结构分布及发展展望[J].中国农学通报,2012,28(32):1-5  
Lin Y, Ma J, Qin F. The structure distribution and prospect of China manure resource[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(32): 1-5 (in Chinese)
- [3] 张田,卜美东,耿维.中国畜禽粪便污染现状及产沼气潜力[J].生态学杂志,2012,31(5):1241-1249  
Zhang T, Bu M D, Geng W. Pollution status and biogas-producing potential of livestock and poultry excrements in China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(5): 1241-1249 (in Chinese)
- [4] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2015  
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2015 (in Chinese)
- [5] 中国农业年鉴编辑委员会.中国农业年鉴[M].北京:中国农业出版社,2015  
Editorial office of China Agriculture Yearbook. *China Agriculture Yearbook* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015 (in Chinese)
- [6] 中国畜牧兽医年鉴编辑部.中国畜牧兽医年鉴[M].北京:中国农业出版社,2015  
Editorial Office of Yearbook of Animal Husbandry and

- Veterinary Medicine of China. *Yearbook of Animal Husbandry and Veterinary Medicine of China* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015 (in Chinese)
- [7] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015  
Rural Social and Economic Research Bureau of National Bureau of Statistics. *China Rural Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2015 (in Chinese)
- [8] 中国农业大学, 上海市农业广播电视学校, 华南农业大学. 家畜粪便学[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1997  
China Agricultural University, Shanghai City Agricultural Broadcasting and Television School, South China Agricultural University. *Livestock Manure* [M]. Shanghai, Shanghai Jiao Tong University Press, 1997 (in Chinese)
- [9] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999  
The National Agro-Tech Extension and Service Center. *Organic Fertilizer Nutrients in China* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999 (in Chinese)
- [10] 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  
Department of Natural Ecological Protection of the State Environmental Protection Administration. *Survey on Pollution of Livestock and Poultry Farming Industry in China and Countermeasures* [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002 (in Chinese)
- [11] 王方浩, 马文奇, 窦争霞, 马林, 刘小利, 许俊香, 张福锁. 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 F H, Ma W Q, Dou Z X, Ma L, Liu X L, Xu J X, Zhang F S. The estimation of the production amount of animal manure and its environmental effect in China [J]. *China Environmental Science*, 2006, 26(5): 614-617 (in Chinese)
- [12] 柳建国. 畜禽粪便污染的农业系统控制模拟及系统防控对策 [D]. 南京: 南京农业大学, 2009  
Liu J G. Research on prevention and control system of livestock and poultry excreta [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009 (in Chinese)
- [13] 田宜水. 中国规模化养殖场畜禽粪便资源沼气生产潜力评价 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(8): 230-234  
Tian Y S. Potential assessment on biogas production by using livestock manure of large-scale farm in China [J]. *Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(8): 230-234 (in Chinese)
- [14] 耿维, 胡林, 崔建宇, 卜美东, 张蓓蓓. 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 W, Hu L, Cui J Y, Bu M D, Zhang B B. Biogas energy potential for livestock manure and gross control of animal feeding in region level of China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(1): 171-179 (in Chinese)
- [15] 贾伟. 我国粪肥养分资源现状及其合理利用分析 [D]. 北京: 中国农业大学, 2014  
Jia W. Studies on the evaluation of nutrient resources derived from manure and optimized utilization in arable land of China [D]. Beijing: China Agricultural University, 2014 (in Chinese)
- [16] 黎运红. 畜禽粪便资源化利用潜力研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2015  
Li Y H. Study on resource utilization potential of livestock and poultry manure [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015 (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 [EB/OL]. (2016-10-25) <https://wenku.baidu.com/view/528be4e1af1ffc4fff47ac3b.html>  
Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Nanjing Institute of Environmental Sciences, MEP. The First National Pollution Sources Survey of Livestock and Poultry Breeding Industry Pollutant Emission Coefficient Manual [EB/OL]. (2016-10-25) <https://wenku.baidu.com/view/528be4e1af1ffc4fff47ac3b.html> (in Chinese)
- [18] 董红敏, 朱志平, 黄宏坤, 陈永杏, 尚斌, 陶秀萍, 周忠凯. 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 H M, Zhu Z P, Huang H K, Chen Y X, Shang B, Tao X P, Zhou Z K. Pollutant generation coefficient and discharge coefficient in animal production [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(1): 303-308 (in Chinese)
- [19] 栾冬梅, 李士平, 马君, 孙黎, 李文哲. 规模化奶牛场育成牛和泌乳牛产污系数的测算 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 185-189  
Luan D M, Li S P, Ma J, Sun L, Li W Z. Calculation of pollutants producing and discharging coefficients of heifers and lactating dairy cows in large-scale dairy farms [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(16): 185-189 (in Chinese)
- [20] 谢飞, 曹磊, 王震, 闵兴华, 赵言文. 江苏省太湖地区畜禽业产排污测算 [J]. 水土保持通报, 2014, 34(2): 128-133  
Xie F, Cao L, Wang Z, Min X H, Zhao Y W. Estimation of pollutant production and discharge from livestock and poultry industries in Taihu Lake region [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2014, 34(2): 128-133 (in Chinese)
- [21] 汪开英, 刘健, 陈小霞, 代小蓉, 冯尚连. 浙江省畜禽业产排污测算与土地承载力分析 [J]. 应用生态学报, 2009, 20(12): 3043-3048  
Wang K Y, Liu J, Chen X X, Dai X R, Feng S L. Pollutant production and discharge from livestock and poultry industries and land carrying capacity in Zhejiang province [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(12): 3043-3048 (in Chinese)

- [22] 朱宏鹄,常志州,叶小梅,杜静,石利利. 太湖地区规模奶牛场粪尿年产生量估算[J]. 江苏农业学报, 2010, 36(3): 517-521  
Zhu H H, Chang Z Z, Ye X M, Du J, Shi L L. Estimation of annual excretion in a large-scale cattle farm in Taihu district [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2010, 36(3): 517-521 (in Chinese)
- [23] 王会群,高腾云,史鹏飞,段柳艳,张丽,王笑笑,孙凯佳. 奶牛集约化生产体系中氮素产污系数的测定[J]. 江苏农业科学, 2010(3): 444-446  
Wang H Q, Gao T Y, Shi P F, Duan L Y, Zhang L, Wang X X, Sun K J. Determination of nitrogen pollution factor in intensive production system of dairy cows [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2010(3): 444-446 (in Chinese)
- [24] 何志平,曾凯,李正确,吕学斌. 四川规模猪场产排污系数测定[J]. 中国沼气, 2010, 4(28): 10-14  
He Z P, Zeng K, Li Z Q, Lv X B. Measurement of pollutants producing and discharging coefficient on large scale pig farms in Sichuan [J]. *China Biogas*, 2010, 4(28): 10-14 (in Chinese)
- [25] Liang L, Lal R, Du Z, Wu W L, Meng F Q. Estimation of nitrous oxide and methane emission from livestock of urban agriculture in Beijing [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, 170: 28-35
- [26] 杨鹏宇. 北京市农村生物质能利用现状与发展预测研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2015  
Yang P Y. A study on biomass energy utilization and development prediction in Beijing rural area [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2015 (in Chinese)
- [27] 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 M G, Ma C H. 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)
- [28] 阿茹罕. 呼和浩特市生物质能问题研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014  
A R H. A research on problem of biomass energy in Huhhot [D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2014 (in Chinese)
- [29] 马林,王方浩,马文奇,张福锁,范明生. 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 L, Wang F H, Ma W Q, Zhang F S, Fan M S. Assessments of the production of animal manure and its contribution to eutrophication in Northeast China for middle and long period [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(8): 170-174 (in Chinese)
- [30] 王洋. 黑龙江省畜禽排泄物处理的经济分析[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008  
Wang Y. Economic analysis on disposing livestock excrement in Heilongjiang Province [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2008 (in Chinese)
- [31] 韦春波,李洋洋,孙广涛,贾永全. 黑龙江省畜禽粪便的排放量及时空分布特征[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(6): 63-66  
Wei C B, Sun Y Y, Li G T, Jia Y Q. Emissions and temporal and spatial distribution characteristics of livestock manure in Heilongjiang Province [J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2016(6): 63-66 (in Chinese)
- [32] 沈根祥,汪根谷,袁大伟. 上海市郊农田畜禽粪便负荷量及其警报与分级[J]. 上海农业学报, 1994(10): 6-11  
Shen G X, Wang Y G, Yuan D W. Loading amounts of animal feces and their alarming values and classification grades in Shanghai suburbs [J]. *Acta Agricultural Shanghai*, 1994(10): 6-11 (in Chinese)
- [33] 刘培芳,陈振楼,许世远,刘杰. 长江三角洲城郊畜禽粪便的污染负荷及其防治对策[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(5): 456-460  
Liu P F, Chen Z L, Xu S Y, Liu J. Waste loading and treatment strategies on the excreta of domestic animals in the Yangtze delta [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2002, 11(5): 456-460 (in Chinese)
- [34] 张玉珍,洪华生,曾悦,黄金良,陈能汪,黄云凤,林阳. 九龙江流域畜禽养殖业的生态环境问题及防治对策探讨[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(7): 29-34  
Zhang Y Z, Hong H S, Zeng Y, Huang J L, Chen N W, Huang Y F, Lin Y. The environmental problems of livestock raising and its countermeasures in Jiulongjiang watershed [J]. *Chongqing Environmental Science*, 2003, 25(7): 29-34 (in Chinese)
- [35] 黄红英,常志州,叶小梅,马艳,于建光,靳红梅,许建平. 区域畜禽粪便产生量估算及其农田承载预警分析: 以江苏为例[J]. 江苏农业学报, 2013, 29(4): 777-783  
Huang H Y, Chang Z Z, Ye X M, Ma Y, Yu J G, Jin H M, Xu J P. Estimation of regional livestock manure production and farmland loading capacity: A case study of Jiangsu Province [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2013, 29(4): 777-783 (in Chinese)
- [36] 郭德杰,吴华山,马艳,常志州. 集约化养殖场羊与兔粪尿产生量的监测[J]. 生态与农村环境学报, 2011, 27(1): 44-48  
Guo D J, Wu H S, Ma Y, Chang Z Z. Study on the amount of manure and urine excreted by sheep and rabbits in intensive pasture [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2011, 27(1): 44-48 (in Chinese)
- [37] 李培培,王建华,张宝珣,李和刚. 青岛市畜禽粪便排放量与农田负荷量分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2015(15): 132-135  
Li P P, Wang J H, Zhang B X, Li H G. Analysis of livestock manure output and cropland load in Qingdao [J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2015(15): 132-135 (in Chinese)
- [38] 赵俊伟,尹昌斌. 青岛市畜禽粪便排放量与肥料化利用潜力分析[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(7): 108-115  
Zhao J W, Yin C B. Analysis on the total amount of domestic animal excrement and the potential of fertilizer utilization in

- QingdaoCity[J]. *Chinese Journal of Agricultura Resources and Regional Planning*, 2016, 37(7):108-115 (in Chinese)
- [39] 周凯, 雷泽勇, 王智芳, 史杰, 彭兴芝. 河南省畜禽养殖粪便年排放量估算[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(5):1060-1065  
Zhou K, Lei Z Y, Wang Z F, Shi J, Peng X Z. Estimation of annual total livestock/poultry excrement in Henan Province [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(5):1060-1065 (in Chinese)
- [40] 廖青, 黄东亮, 江泽普, 韦广泼, 梁潘霞, 李杨瑞. 广西畜禽粪便产生量估算及对环境的影响评价[J]. *南方农业学报*, 2013, 44(4):627-631  
Liao Q, Huang D L, Jiang Z P, Wei G P, Liang P X, Li Y R. Estimation of quantity of livestock and poultry manure and environment impact assessment in Guangxi [J]. *Journal of Southern Agricultural*, 2013, 44(4):627-631 (in Chinese)
- [41] 黎运红, 谭鹤群. 湖北省畜禽粪便资源分布及其环境负荷研究[J]. *广东农业科学*, 2015(18):136-141  
Li Y H, Tan H Q. Resource distribution and environmental load of animal manure in Hubei Province [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2015(18):136-141 (in Chinese)
- [42] 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 L, Wang D Y. Estimation of annual quantity of total excretion from livestock and poultry in Chongqing municipality [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2004, 20(1):288-292 (in Chinese)
- [43] 黄凤霞, 田红, 邓也. 成都市畜禽粪便年排放量估算及耕地负荷量分析[J]. *现代农业科技*, 2016(24):183-184  
Huang F X, Tian H, Deng Y. Analysis on total amount of domestic animal excrement and farmland load capacity in Chengdu [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2016(24):183-184 (in Chinese)
- [44] 妙旭华, 赵文超. 甘肃省畜禽养殖污染状况及粪便的综合利用[J]. *甘肃环境研究与监测*, 2002, 15(4):305-307  
Miao X H, Zhao W C. Pollution status of livestock and poultry in Gansu province and comprehensive utilization offices [J]. *Gansu Environmental Study and Monitoring*, 2002, 15(4):305-307 (in Chinese)
- [45] 王国利, 苏家联, 阮燕春, 陈家贵, 杨志春. 广西地区肉牛产排污系数测定的研究[J]. *中国畜牧杂志*, 2014, 50(11):76-80  
Wang G L, Su J L, Ruan Y C, Chen J G, Yang Z C. Study on the determination of pollutant discharge coefficient of beef cattle in Guangxi area [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2014, 50(11):76-80 (in Chinese)
- [46] 张汉武. 沙漠之舟: 骆驼[J]. *生命世界*, 2016(5):70-73  
Zhang H W. Camel: Ship in the desert [J]. *Life World*, 2016(5):70-73 (in Chinese)
- [47] 丁疆华. 广州市畜禽粪便污染与防治对策[J]. *环境科学研究*, 2000, 13(3):57-59  
Ding J H. The pollution of poultry and animal feces and the counter measures in Guangzhou [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2000, 13(3):57-59 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅