

我国主要畜禽粪便养分含量及变化分析

李书田, 刘荣乐, 陕 红

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘 要: 取样并分析了我国 20 个省(市)主要畜禽粪便的养分含量。结果表明, 畜禽粪便中养分含量变异很大, 鸡粪和猪粪的氮(N)、磷(P_2O_5)、锌(Zn)、铜(Cu)含量明显高于牛粪和羊粪, 而钾素(K_2O)含量相当。鸡粪中 N、 P_2O_5 、 K_2O 、Zn、Cu 平均含量分别为 2.08%、3.53%、2.38%、306.6 $mg \cdot kg^{-1}$ 和 78.2 $mg \cdot kg^{-1}$; 猪粪中分别为 2.28%、3.97%、2.09%、663.3 $mg \cdot kg^{-1}$ 和 488.1 $mg \cdot kg^{-1}$; 牛粪中分别为 1.56%、1.49%、1.96%、138.6 $mg \cdot kg^{-1}$ 和 48.5 $mg \cdot kg^{-1}$; 羊粪中分别为 1.31%、1.03%、2.40%、88.9 $mg \cdot kg^{-1}$ 、23.5 $mg \cdot kg^{-1}$ 。按照德国腐熟堆肥的标准, 鸡粪中 Zn、Cu 的超标率分别为 27.1%和 15.3%;猪粪中 Zn、Cu 的超标率分别为 62.5%和 70.0%;牛粪中 Zn、Cu 的超标率分别为 3.8%和 9.6%;羊粪中 Zn、Cu 不超标。与上世纪 90 年代相比, 鸡粪、猪粪、牛粪中 P_2O_5 的平均含量分别增加 65.7%、93.7%和 52.0%;鸡粪、猪粪、牛粪、羊粪 K_2O 的平均含量分别增加 138.7%、54.8%、71.9%、50.9%;鸡粪和猪粪中 Zn 的平均含量分别增加 92.1%和 383.5%,猪粪含 Cu 量增加近 12 倍。畜禽粪便的电导率(EC)值主要集中在 50~150 $mS \cdot cm^{-1}$, pH 主要集中在 7.0~8.0。这一研究为畜禽粪便的安全合理施用提供了参考。

关键词: 畜禽粪便; 养分含量; 分析

中图分类号: X502 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2009)01-0179-06

Nutrient Contents in Main Animal Manures in China

LI Shu-tian, LIU Rong-le, SHAN Hong

(Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081, China)

Abstract: Nutrient contents in animal manure from 20 provinces in China were analyzed and discussed. Results indicated that the contents of N, P, Zn, Cu were obvious higher in chicken and pig manures than in cattle and sheep manures, but K contents were similar. The average content of N, P_2O_5 , K_2O , Zn and Cu was 2.08%, 3.53%, 2.38%, 306.6 $mg \cdot kg^{-1}$ and 78.2 $mg \cdot kg^{-1}$ in chicken manure, 2.28%, 3.97%, 2.09%, 663.3 $mg \cdot kg^{-1}$ and 488.1 $mg \cdot kg^{-1}$ in pig manure, 1.56%, 1.49%, 1.96%, 138.6 $mg \cdot kg^{-1}$ and 48.5 $mg \cdot kg^{-1}$ in cattle manure, 1.31%, 1.03%, 2.40%, 88.9 $mg \cdot kg^{-1}$ and 23.5 $mg \cdot kg^{-1}$ in sheep manure, respectively. For Zn and Cu about 27.1% and 15.3% of chicken manure samples, 62.5% and 70.0% of pig manure samples, 3.8% and 9.6% of cattle manure samples exceed the limits of mature compost in Germany. Compared with the results investigated in 1990s, the average P_2O_5 content in chicken manure, pig manure and cattle manure increased by 65.7%, 93.7% and 52.0%, respectively. The average K_2O content in chicken, pig, cattle and sheep manure increased by 138.7%, 54.8%, 71.9%, 50.9%, respectively. Zn content in chicken and pig manure increased by 92.1% and 383.5%, respectively, and Cu content in pig manure was 12 times higher. Electrical conductivity (EC) of most samples is in the range of 50 to 150 $mS \cdot cm^{-1}$ and pH is in the range of 7.0 to 8.0 in most samples.

Keywords: animal manure; nutrient content; annlysis

随着我国畜牧业的快速发展, 畜禽养殖已向区域化、集约化方向发展。畜禽饲养规模不断扩大, 畜禽粪便的产生量不断增加。据黄鸿翔等估算^[1], 2003 年我国畜禽粪便为 22.1 亿 t, 占农业有机废弃物资源的

40%以上, 以猪粪、鸡粪、牛粪、羊粪为主, 占畜禽粪便总量的 90%以上。预计到 2010 年, 全国畜禽粪便的排放量将达 45 亿 t。因此, 畜禽粪便如何应用关系到环境安全和畜牧业的可持续发展。畜禽粪便的农用是最直接、最有效的措施, 利用好畜禽粪便, 能够提高土壤肥力, 实现养分的再循环, 对于减少化学肥料的施用、保护生态环境、推动农业可持续发展具有十分重要的意义。

收稿日期: 2008-04-05

基金项目: 973 项目(2007CB109308); 国家科技支撑计划(2006BAD25B03); 国际合作重点项目(2005DFA31100)

作者简介: 李书田(1966—), 男, 博士, 研究员, 主要从事肥料资源高效利用研究。E-mail: stli@caas.ac.cn

我国在农业生产上施用畜禽粪便有机肥具有悠久的历史和丰富的经验,在我国农业发展中发挥着重要作用,一方面补充土壤有机碳,提高土壤生物活性,另一方面也是增加土壤养分的重要措施。但是,传统上畜禽粪便的施用存在诸多问题,与化学肥料配合使用时不考虑其中的养分,缺乏合理的用量和配比,往往是多多益善,如大棚蔬菜上每 666.67 m² 施用量竟高达十几吨。研究表明,过量施用粪肥尤其是猪粪仍然会导致养分流失及淋失,引起地表水、地下水污染^[2]。畜禽粪便用量到底如何确定,关键是摸清畜禽粪便中的养分含量状况,才能确定畜禽粪便合理用量和与化肥配合施用的比例。上世纪 90 年代初,农业部全国农业技术推广中心对全国范围内的畜禽粪便资源养分含量状况进行了调查和分析^[3],对指导其合理施用起到了重要作用。但是,随着规模化养殖的发展,畜禽养殖业从分散饲养发展到规模化养殖,高蛋白饲料和饲料添加剂广泛使用^[4]。畜禽日粮中的磷主要来源于植物、动物性饲料及无机磷,来自玉米、高粱等饲料的植酸磷占 66%~68%,生物学利用率只有 12%,而添加剂中的无机磷如磷酸二氢钙、脱氟磷酸盐等有效利用率较高^[5],因此畜禽粪便中的磷主要来自植物性饲料。有研究表明,猪摄入的氮和磷总体上有 60%~80% 从粪便中排出^[6]。锌、铜等微量元素的加入有增加畜禽粪便中重金属含量的风险,从而对土壤与环境以及食品安全等构成威胁^[7-8]。此外,为了处理利用方便,多数养殖企业采用干清粪的方式,降低畜禽粪便脱水的成本,减少养分损失。这些饲养方式的改变会使得畜禽粪便中的氮磷钾和微量元素养分的状况发生很大变化,因此有必要对当前畜禽粪便中主要养分含量状况进行全面了解,以便安全合理地利用畜禽粪便这一有机肥资源。

1 材料与方法

1.1 畜禽粪便样品的采集

在全国范围内包括山东、山西、河北、黑龙江、吉林、甘肃、青海、宁夏、广东、广西、湖南、湖北、贵州、云南、江西、上海等 20 个省市规模化养殖场采取有代表性的猪粪、鸡粪、牛粪、羊粪样品共 170 个,其中鸡粪 59 个、猪粪 40 个、牛粪 52 个、羊粪 19 个。样品风干粉碎后,过 1 mm 筛储存储备用。

1.2 测定方法

氮磷钾测定采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消化,全氮采用蒸馏法,磷采用钒钼黄比色法,钾采用火焰光度法测定。

Zn、Cu 采用硝酸-高氯酸消化提取^[9],原子吸收分光光度法测定。pH 和 EC 采用常规方法。

2 结果与讨论

2.1 畜禽粪便中氮磷钾养分含量状况

测定结果表明,相同种类或不同种类的畜禽粪便氮磷钾养分状况存在较大差异(图 1、2、3)。对氮素含量来说,鸡粪含氮量范围为 0.60%~4.85%,平均 2.08%,主要集中在 1.0%~2.0% 和 2.0%~3.0% 之间,分别占样品总数的 37.3% 和 35.6%,含量大于 3.0% 的样品占 15.3%。猪粪含氮量略高于鸡粪,含量范围为 0.20%~5.19%,平均为 2.28%,分别有 25.0%、32.5%、25.0% 的样品含氮量在 1.0%~2.0%、2.0%~3.0%、3.0%~4.0%。对牛粪来说,全氮含量范围为 0.32%~4.13%,平均为 1.56%,有一半以上的样品含氮量在 1.0%~2.0%,小于 1.0% 和大于 2.0% 的样品分别占 27.0% 和 21.2%。羊粪的含氮量较低,含量范围为 0.25%~3.08%,平均为 1.31%,有 42.1% 的样品含氮量在 1.0%~2.0%,含氮量小于 1.0% 和大于 2.0% 的样品分别占 42.2% 和 15.8% (图 1)。

对磷素(P₂O₅,下同)含量来说,鸡粪含磷量范围为 0.39%~6.75%,平均为 3.53%,小于 3.0% 的样品占 28.8%,含磷量 3.0%~4.0% 的样品占 35.6%,含磷量 4.0%~5.0% 的样品占 22.0%,大于 5.0% 的样品占 13.6%。猪粪含磷量范围较大,为 0.39%~9.05%,平均为 3.97%,有 55.0% 的样品含磷量在 3.0%~6.0%,40.5% 的样品含磷量大于 5.0%,大于 6.0% 的样品还有 13.0%。对牛粪来说,磷素的含量远远小于猪粪,含量范围为 0.22%~8.74%,平均为 1.49%,36.5% 的样品含磷量在 0.5%~1.0%,40.4% 的样品含磷量在 1.0%~2.0%,含磷量大于 2.0% 的样品只有 17.3%。羊粪的含磷量更低,含量范围为 0.35%~2.72%,平均只有 1.03%,有 52.6% 的样品含磷量在 0.5%~1.0%,含磷量大于 2.0% 的样品只有 5.0% (图 2)。

对钾素(K₂O,下同)含量来说,鸡粪含钾量范围为 0.59%~4.63%,平均 2.38%,含钾量 1.0%~2.0% 的样品占 30.5%,含钾量 2.0%~3.0% 的样品占 47.5%,大于 3.0% 的样品占 18.6%。猪粪含钾量范围较大,为 0.94%~6.65%,平均 2.09%,总的来看猪粪的含钾量低于鸡粪,57.5% 的样品含钾量在 1.0%~2.0%,32.5% 的样品含钾量在 2.0%~3.0%,大于 3.0% 的样品只有 7.5%。牛粪中钾素的含量更低,平均含钾量为 1.96%,59.6% 的样品含钾量在 1.0%~2.0%,含钾量 2.0%~

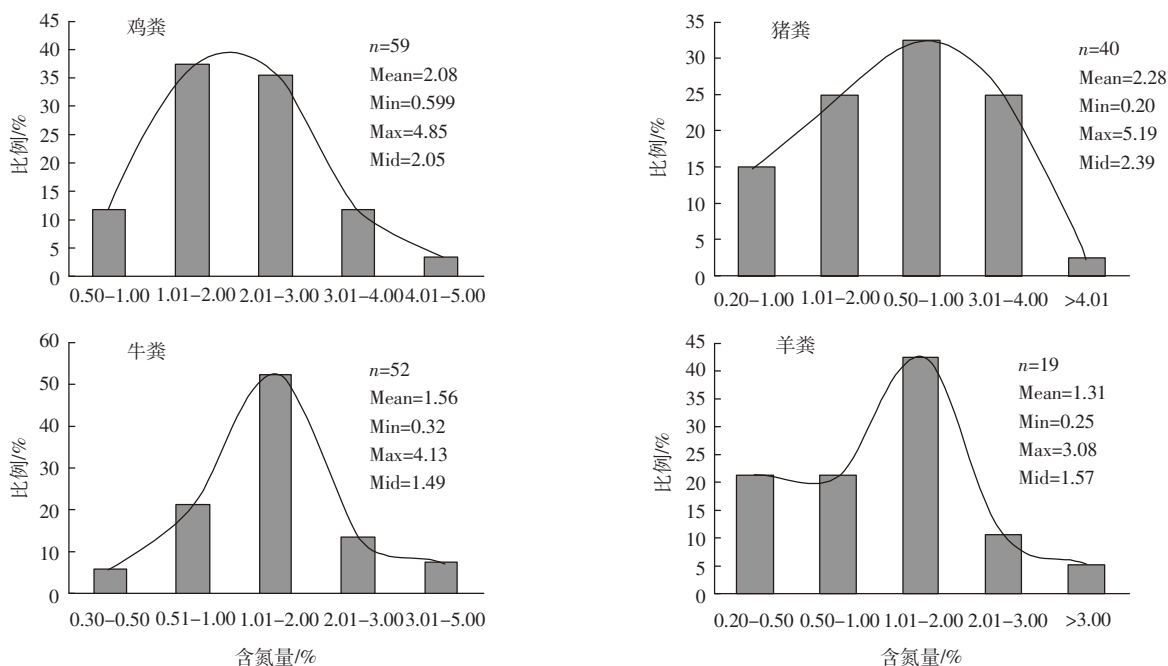


图 1 畜禽粪便中氮素含量的分布状况

Figure 1 Frequent distributions of N contents in animal manures

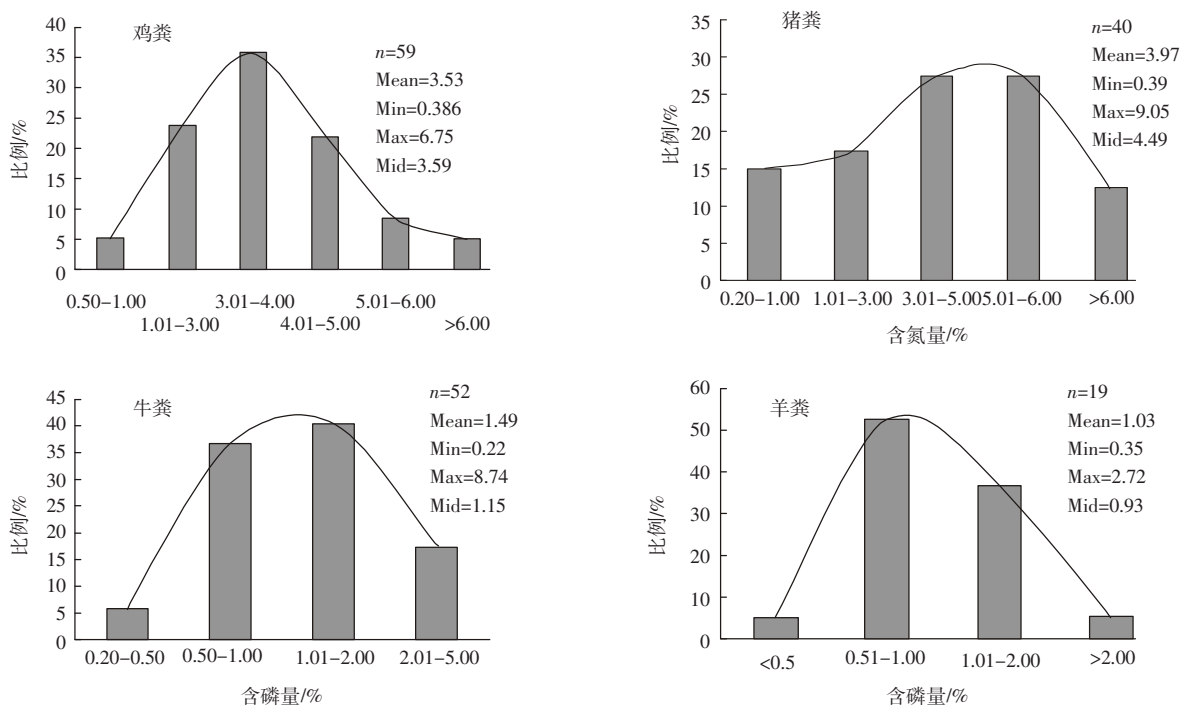


图 2 畜禽粪便中磷素含量的分布状况

Figure 2 Frequent distributions of P contents in animal manures

3.0%和大于 3%的比例分别为 19.2%和 13.5%。羊粪的含钾量较高,含量范围为 0.89%~3.70%,平均 2.40%,47.4%的样品含钾量在 2.0%~3.0%,含钾量大于 3.0%的样品有 21.1%(图 3)。

与上世纪 90 年代的研究数据相比(表 1),几种畜禽粪便氮素平均含量变化不大,而鸡粪、猪粪和牛

粪中磷素的平均含量分别增加 65.7%、93.7%和 52.0%,羊粪中磷素含量几乎没有变化。4 种畜禽粪便的平均含钾量都显著增加,鸡粪、猪粪、牛粪、羊粪含钾量分别增加 138.7%、54.8%、71.9%、50.9%。从氮磷钾养分平均含量来看,过去鸡粪中 3 种养分含量相当,目前磷钾含量较高,甚至高出氮素含量 1 倍;猪粪

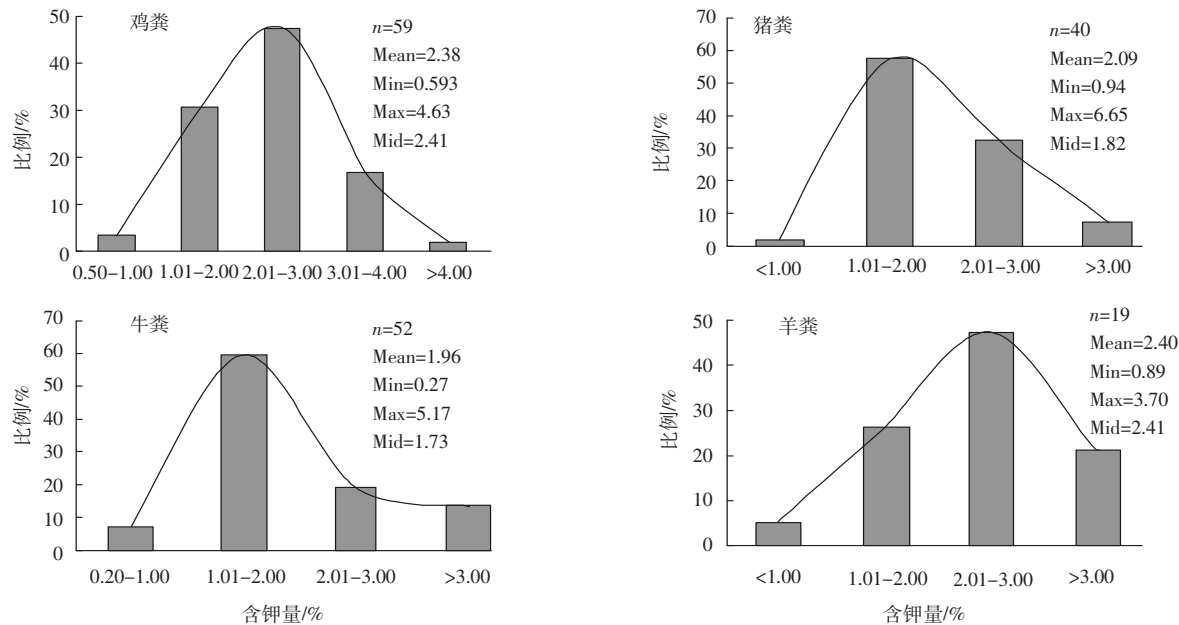


图 3 畜禽粪便中钾素含量的分布状况
Figure 3 Frequent distributions of K contents in animal manures

中过去以氮磷为主,含量相当,钾素含量较低,目前以磷素含量为主,氮钾含量相当;牛粪和羊粪过去以氮素为主,磷钾含量相当,而目前以钾素含量为主,氮磷含量相当。从不同畜禽粪便氮磷钾养分含量特点来看,无论过去还是现在猪粪和鸡粪中磷素含量显著高于牛粪和羊粪,高出 1~2 倍。畜禽粪便的氮磷钾养分含量特点要求施用时应根据畜禽粪便种类和氮磷钾含量确定合理用量,避免过量投入某种养分,而造成养分失衡。

2.2 畜禽粪便中 Zn、Cu 含量和 EC、pH 状况

畜禽粪便中锌(Zn)、铜(Cu)含量的范围很大,每公斤干基中含有几十至上千毫克(表 2)。从平均值来看,猪粪中 Zn、Cu 含量最高,其次为鸡粪,羊粪最低。

表 1 与上世纪 90 年代初畜禽粪便中养分平均含量状况比较 (mg·kg⁻¹ 干基)
Table 1 Comparison of nutrient contents in animal manures at present with those tested in 1990's (mg·kg⁻¹DW)

养分	鸡粪		猪粪		牛粪		羊粪	
	1990's ^a	现在	1990's	现在	1990's	现在	1990's	现在
N	2.34	2.08	2.09	2.28	1.67	1.56	2.08	1.31
P ₂ O ₅	2.13	3.53	2.05	3.97	0.98	1.49	1.14	1.03
K ₂ O	1.94	2.38	1.35	2.09	1.14	1.96	1.59	2.40
Zn	159.6	306.6	137.2	663.3	100.3	138.6	110.5	88.9
Cu	52.4	78.2	37.6	488.1	26.9	48.5	44.3	23.5

注:^a资料来源:邢文英和李荣,1999^[3]。

对锌含量来说,鸡粪、猪粪、牛粪、羊粪中 Zn 含量分别为 38.8~1 017.5 mg·kg⁻¹、40.5~2 286.8 mg·kg⁻¹、31.3~634.7 mg·kg⁻¹、30.2~161.1 mg·kg⁻¹,平均分别为 306.6、663.3、138.6、88.9 mg·kg⁻¹。鸡粪中有 49.1%的样品含 Zn 量在 200~500 mg·kg⁻¹,而猪粪中有 60%的样品含 Zn 量在 500 mg·kg⁻¹ 以上,牛粪和羊粪分别有 50%和 63.2%的样品含 Zn 量小于 100 mg·kg⁻¹(表 3)

对铜含量来说,鸡粪、猪粪、牛粪、羊粪中 Cu 含量分别为 16.8~736.5 mg·kg⁻¹、12.1~1 742.1 mg·kg⁻¹、8.9~437.2 mg·kg⁻¹、13.1~47.9 mg·kg⁻¹,平均分别为 78.2、488.1、48.5、23.5 mg·kg⁻¹。鸡粪中有 62.7%的样品含 Cu 量小于 50 mg·kg⁻¹,84.7%小于 100 mg·kg⁻¹,而猪粪中有 42.5%的样品含 Cu 量在 500 mg·kg⁻¹ 以上,甚至有 10%样品含 Cu 在 1 000 mg·kg⁻¹ 以上,牛粪有 88.5%的样品、羊粪 100%的样品含 Cu 量低于 50 mg·kg⁻¹(表 3)。可见,猪粪中铜的含量明显高于其他畜禽粪便,其次为鸡粪,而牛粪和羊粪含铜量较低。

与上个世纪 90 年代相比(表 1),鸡粪和猪粪中的 Zn 含量增加较多,分别增加 92.1%和 383.5%,而牛粪和羊粪中 Zn 含量变化不大;对 Cu 含量来说,除猪粪含 Cu 量增加近 12 倍外,鸡粪、牛粪和羊粪含铜量变化不大,这可能与不同畜禽使用的饲料添加剂种类和用量不同所致。

虽然锌和铜是作物必需的微量元素,但作物需要量不高,过量施用会对作物造成损害,甚至使农产品

中的含量超标,对人类健康构成威胁。欧洲一些国家如比利时、荷兰和德国对有机废弃物中锌、铜等重金属有较为严格的限量,由于目前我国还没有关于有机肥中重金属的限量标准^[11],因此参考德国腐熟堆肥中部分重金属限量标准,Zn、Cu 最高限量分别为 400 mg·kg⁻¹DW 和 100 mg·kg⁻¹DW^[10]。按照这一标准,在测定的样品中,鸡粪中 Zn、Cu 的超标率分别为 27.1%和 15.3%,猪粪中 Zn 和 Cu 的超标率分别为 62.5%和 70.0%,牛粪中 Zn 和 Cu 的超标率分别为 3.8%和 9.6%,羊粪中 Zn、Cu 不超标(表 2)。对畜禽粪便中其他重金属元素如镉、铅、砷、铬、镍、汞的含量和超标率已进行过研究^[12]。由此可见,施用畜禽粪便时,不但要考虑其氮磷钾养分含量,也要考虑其中的金属元素含量状况,既要合理利用畜禽粪便的养分资源,又要防止金属元素对农产品和环境可能造成的污染,实现畜禽粪便的安全合理施用。

酸碱度和电导率是畜禽粪便的重要物理指标。鸡粪、猪粪、牛粪、羊粪中 EC 值的变化范围很大,平均分别为 150.5、148.9、129.6、129.0 mS·cm⁻¹,猪粪和鸡粪略高(表 2)。从分布特征来看,4 种畜禽粪便的 EC 值主要集中在 50~150 mS·cm⁻¹,猪粪和鸡粪分别有 20%以上的样品 EC 值在 200 mS·cm⁻¹ 以上,而牛粪和羊粪只有 10%左右的样品大于 200 mS·cm⁻¹。畜禽粪便的 pH 都大于 6.0。鸡粪、猪粪、牛粪和羊粪的 pH 平均分别为 7.7、7.6、7.8、8.0(表 2),主要集中在 7.0~8.0(表 4)。羊粪的 pH 较高,有约 58%的样品 pH 在

8.0 以上。

3 结论与建议

鸡粪、猪粪、牛粪和羊粪 4 种畜禽粪便的主要养分氮、磷、钾、锌、铜含量存在较大差异。鸡粪和猪粪的氮、磷、锌、铜含量明显高于牛粪和羊粪,但 4 种畜禽粪便的钾素含量相当。与上世纪 90 年代相比,几种畜禽粪便氮素含量变化不大,但鸡粪、猪粪、牛粪中磷素的含量明显增加,4 种畜禽粪便的含钾量都显著增加。鸡粪和猪粪中的 Zn 含量增加很大,而牛粪和羊粪中 Zn 含量变化不大,除猪粪含 Cu 量增加近 12 倍

表 3 畜禽粪便中 Zn、Cu 的含量分布特点

Table 3 The characteristics of Zn and Cu content in animal manures

元素	范围/ mg·kg ⁻¹ 干基	比例 /%			
		鸡粪 (n=59)	猪粪 (n=40)	牛粪 (n=52)	羊粪 (n=19)
Zn	<100	8.5	15.0	50.0	63.2
	100~150	13.6	7.5	23.1	21.1
	150~200	15.2	7.5	7.7	15.8
	200~500	49.1	10.0	17.3	0.0
	500~1 000	11.9	35.0	1.9	0.0
	>1 000	1.7	25.0	0.0	0.0
Cu	<50	62.7	25.0	88.5	100.0
	50~100	22.0	5.0	1.9	0.0
	100~200	6.8	10.0	5.8	0.0
	200~500	6.8	7.5	3.8	0.0
	<1 000	500~1 000	1.7	42.5	0.0

表 2 畜禽粪便中 Zn、Cu、EC 和 pH 状况

Table 2 The status of Zn、Cu、EC and pH in animal manures

元素	项目	鸡粪 (n=59)	猪粪 (n=40)	牛粪 (n=52)	羊粪 (n=19)
Zn/mg·kg ⁻¹ 干基	范围	38.8~1 017.5	40.5~2 286.8	31.3~634.7	30.2~161.1
	平均值	306.6	663.3	138.6	88.9
	中值	257.3	649.0	95.0	82.9
	超标率/% ^a	27.1	62.5	3.8	0.0
Cu/mg·kg ⁻¹ 干基	范围	16.8~736.5	12.1~1 742.1	8.9~437.2	13.1~47.9
	平均值	78.2	488.1	48.5	23.5
	中值	41.8	515.6	25.9	22.1
	超标率/% ^a	15.3	70.0	9.6	0.0
EC/mS·cm ⁻¹	范围	25.0~504.0	30.0~715.0	25.2~599.0	40.4~296.0
	平均值	150.5	148.9	129.6	129.0
	中值	126.1	111.7	107.6	117.1
pH	范围	6.0~8.7	6.2~8.7	6.9~8.7	7.6~9.3
	平均值	7.7	7.6	7.8	8.1
	中值	7.8	7.7	7.8	8.0

注:^a 参考德国腐熟堆肥重金属限量标准^[10]。

表 4 畜禽粪便中 EC 和 pH 的分布特点
Table 4 The characteristics of EC and pH in animal manure

项目	范围	比例/%			
		鸡粪 (n=59)	猪粪 (n=40)	牛粪 (n=52)	羊粪 (n=19)
EC/mS·cm ⁻¹	<50	8.5	2.5	11.5	10.5
	50-100	23.7	37.5	32.7	26.3
	100-150	27.1	32.5	34.6	36.8
	150-200	15.3	5.0	9.6	15.8
	200-250	13.6	10.0	3.8	5.3
	>250	11.9	12.5	7.7	5.3
pH	6.0-7.0	13.6	25.0	1.9	0.0
	7.0-7.5	16.9	5.0	17.3	0.0
	7.5-8.0	44.1	42.5	50.0	42.1
	8.0-8.5	20.3	20.0	21.2	42.1
	>8.5	5.1	7.5	9.6	15.8

外,鸡粪、牛粪和羊粪含铜量变化不大。目前猪粪中锌、铜的超标最为严重,其次是鸡粪,牛粪和羊粪的锌铜超标较少,甚至不超标。

总之,鸡粪、猪粪、牛粪、羊粪中氮、磷、钾、锌、铜含量丰富,按照 2003 年畜禽粪便资源总量 22 亿 t,可提供氮磷钾 3 082 万 t^[1],按 4 种粪便约占畜禽粪便资源的 90%计,可提供 NPK 约 2 800 万 t,约为当年 NPK 化肥消费量的 60%以上。因此,特别在目前化肥价格居高不下的情况下,利用好畜禽粪便不但可以有效地减少化学肥料的用量,还能增加土壤有机质,实现减肥增效和农田可持续利用。但是猪粪和鸡粪中磷含量较高,氮磷比平均约为 1:1.7,因此施用畜禽粪便时一要注意氮磷钾养分的平衡,二要防止过量施用造成土壤磷素积累和面源污染^[2]。畜禽粪便钾素含量均达到 2%以上,是很好的钾源,可以缓解我国钾肥资源缺乏的状况,钾素对环境不会构成威胁。猪粪和鸡粪中 Zn 和 Cu 的含量很高,一方面可以给植物提供微量元素营养,增加植物产品中微量元素的含量,有利于人体健康,另一方面,过量施用会对作物造成损害,甚至使作物产品中含量超标,对人类健康构成威胁。

畜禽粪便的养分含量特点要求我们在施用畜禽粪便时并不是多多益善,一定要根据畜禽粪便的种类及其养分含量状况,确定合理用量,并同时考虑畜禽粪便中锌、铜和其他重金属元素的含量从而确定其安全使用量,避免过量金属元素对环境和农产品安全构成威胁。因此,开展畜禽粪便安全高效施用方面的研究,包括养分的释放特点和与化学肥料合理配合的比例、畜禽粪便中重金属对环境和农产品影响的安全阈

值等迫在眉睫。

参考文献:

- [1] 黄鸿翔,李书田,李向林,等.我国有机肥的现状与发展前景分析[J].土壤肥料,2006(1):3-8.
HUANG Hong-xiang, LI Shu-tian, LI Xiang-lin, et al. Analysis on the status of organic fertilizer and its development strategies in China [J]. *Soil and Fertilizer China*, 2006(1):3-8.
- [2] Cordovil C M d S, Cabral F, Coutinho J. Potential mineralization of nitrogen from organic wastes to ryegrass and wheat crops [J]. *Bioresource Technology*, 2007(98): 3265-3268.
- [3] 邢文英,李 荣.中国有机肥料养分数据库[M].北京:中国科学技术出版社,1999.
XING Wen-ying, LI Rong. Database of nutrients in organic manure in China[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1999.
- [4] 李 鹏,齐光海.饲料添加剂的使用安全研究进展[J].饲料工业,2006,27(18):7-10.
LI Peng, QI Guang-hai. Advances in security of using feed additive[J]. *Feed Industry*, 2006,27(18):7-10.
- [5] 刘艳琴,江富华.降低养殖业中磷污染的措施[J].家畜生态,2001,22(1):48-51.
LIU Yan-qin, JIANG Fu-hua. The measures of reducing phosphorus pollution[J]. *Acta Ecologiae Animalis Domastici*, 2001, 22(1): 48-51.
- [6] 韩瑞丽,井文倩,李同树.通过营养调控减少畜禽氮磷排泄及其污染[J].畜禽业,2002(1):24-25.
HAN Rui-li, JING Wen-qian, LI Shu-tong. Reduce nitrogen, phosphorus and other pollution by adjusting nutrition [J]. *Livestock and Poultry Industry*, 2002(1):24-25.
- [7] 张树清,张夫道,刘秀梅,等.规模化养殖畜禽粪主要有害成分测定分析研究[J].植物营养与肥料学报,2005,11(6):822-829.
ZHANG Shu-qing, ZHANG Fu-dao, LIU Xiu-mei, et al. Determination and analysis on main harmful composition in excrement of scale livestock and poultry feedlots[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(6):822-829.
- [8] Nicholson F A, Chambers B J, Williams J R, et al. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales[J]. *Bioresour Technol*, 1999, 70:23-31.
- [9] Amacher M C. Nickel, cadmium and lead [C].//Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, 3rd ed. [M] Eds.: D L Sparks, A L Page, P A Helmke, et al. Sumner, Madison, Wisconsin: ASA.1996:739-744.
- [10] Verdonck O, Szmidt R A K. Compost specifications[J]. *Acta Horticulturae*, 1998, 469: 169-177.
- [11] 李书田,刘荣乐.国内外关于有机肥料中重金属安全限量标准的现状与分析[J].农业环境科学学报,2006,25(增刊):777-782.
LI Shu-tian, LIU Rong-le. Establishment and evaluation for maximum permissible concentrations of heavy metals in biosolid wastes as organic manure[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(Sup): 777-782.
- [12] 刘荣乐,李书田,王秀斌,等.我国商品有机肥料和有机废弃物中重金属的含量状况与分析[J].农业环境科学学报,2005,24(2):392-397.
LIU Rong-le, LI Shu-tian, WANG Xiu-bin, et al. Contents of heavy metal in commercial organic fertilizers and organic wastes[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(2):392-397.