

连续施用鸡粪对菜心产量和重金属含量的影响

姚丽贤, 李国良, 何兆桓, 付长营

(广东省农业科学院土壤肥料研究所 广东省养分循环利用与耕地保育重点实验室, 广州 510640)

摘要: 由于养殖业普遍使用微量元素添加剂, 导致禽畜粪中重金属残留过高现象广泛存在. 根据养殖场鸡粪含氮量计算其用量($N\ 0\sim 450\ kg\cdot hm^{-2}$), 进行连续 4 茬菜心施用鸡粪田间实验, 探讨对菜心产量及重金属含量的影响. 结果表明, 第 1、3 茬所有施用鸡粪处理菜心产量比单施无机肥处理降低, 第 2 茬则提高, 第 4 茬鸡粪与无机肥配施处理提高了菜心产量. 不同茬别菜心产量差别较大, 第 2 茬显著高于其它茬别. 从不同处理 4 茬菜心重金属平均含量来看, 施用鸡粪可提高 As、Zn 含量, 降低 Cr、Cd 含量, 对 Pb 含量无明显影响, 配施鸡粪提高 Cu 含量. 除第 2 茬因产量稀释作用影响外, 不同茬别所有处理菜心 As、Pb、Cr、Cu、Zn 平均含量随施用茬数增加而提高, Cd 平均含量则下降. 建议在无公害或绿色食品生产中避免一次性大量施用或连续施用养殖场禽畜粪.

关键词: 连续施用; 鸡粪; 菜心; 产量; 重金属

中图分类号: X171.3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)05-1113-08

Yield and Heavy Metal Content of *Brassica parachinensis* Influenced by Successive Application of Chicken Manure

YAO Li-xian, LI Guo-liang, HE Zhao-huan, FU Chang-ying

(Guangdong Key Laboratory of Nutrient Cycling and Farmland Conservation, Soil and Fertilizer Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: High heavy metal content in animal manures commonly occurs in the world since microelement additives are widely used in intensive animal production. Successive field trials in *Brassica parachinensis* (BP) were conducted to investigate the influence of successive application of chicken manure (at the rate of) on the yield and heavy metal content of BP. The application rate of chicken manure was calculated by its N content and ranged from $N\ 0\sim 450\ kg\cdot hm^{-2}$. The results indicate that compared to single application of inorganic fertilizers, chicken manure decreases the yield of BP in the first and the third crop, increases that in the second crop. Combinations of chicken manure and inorganic fertilizers increase the yield in the fourth yield. Mean yields of all treatments in various crops are greatly different. The second crop is significantly higher than all other crops. In terms of mean heavy metal contents of BP of four crops in various treatment, As and Zn contents increase with applying chicken manure, Cr and Cd contents decrease, Pb contents don't change considerably, and Cu contents increase with applying chicken manure and inorganic fertilizers together. Generally, except for the second crop, mean As, Pb, Cr, Cu and Zn contents of BP in various crops increase with the increasing application times of chicken manure, mean Cd contents decrease. Hence, mass application for one crop or repeated application of chicken manure should be avoided in crop production.

Key words: repeated application; chicken manure; *Brassica parachinensis*; yield; heavy metal

由于现代集约化养殖业普遍使用微量元素添加剂,而且禽畜对此类添加剂的利用率很低^[1,2],禽畜粪的重金属残留在国际上已受到越来越多的关注.国内外均有研究报道禽畜粪重金属含量较高^[3~8],长期施用可导致铜、锌、砷等重金属在土壤的累积^[9~12].不少发达国家对养殖业进行严格管理,对禽畜粪肥的关注主要集中在环境污染^[13~15]和作物有效性^[16,17]方面,对作物品质和食用安全影响的研究较少.我国传统上一直把禽畜粪肥视为优质有机肥,并提倡与无机肥配合长期施用.目前禽畜粪肥用量通常仍按传统用量或按禽畜粪含氮量或含磷量来计算^[18],对其它物质含量尚极少考虑.为此,进行连续 4 茬菜心施用养殖场鸡粪田间实验,根据鸡粪含氮量计算其用量,系统探讨了在华南地区现有种植制

度下,施用养殖场鸡粪对菜心产量、品质、重金属含量及土壤质量的影响.本实验侧重研究连续施用鸡粪对菜心产量和重金属含量的影响,以期为养殖场禽畜粪肥的合理安全施用提供多方面的参考.

1 材料与方法

于 2004-10~2005-03 在广州市花都区三东菜场连续进行 4 茬菜心施用鸡粪实验.

1.1 实验处理

实验设无机肥单施、鸡粪与无机肥配施和鸡粪

收稿日期: 2006-05-21; 修订日期: 2006-11-02
基金项目: 广东省科技攻关项目(2005B20801008); 广东省农业科学院科技攻关项目(2004-攻关-20B)
作者简介: 姚丽贤(1971~),女,副研究员,主要研究方向为施肥与生态, E-mail: lyaoxl@yahoo.com.cn

单施共 5 个处理,具体见表 1.每个处理 3 次重复,随机区组排列.每个小区 11 m².每个处理鸡粪施用量见表 1.由于不同季节菜心品种不尽相同,而且生育期差别较大,第 1~4 茬常量无机肥处理的无机氮用量分别为 75、135、45、225 kg•hm⁻²,每茬氮磷钾肥分别按 N:P₂O₅:K₂O = 1:0.4:0.8 的质量比施入.供试无机肥为广东省农业科学院农作物专用肥厂生产的蔬菜专用肥,N、P₂O₅、K₂O 含量分别为 15%、6%和 12%.

表 1 实验处理
Table 1 Treatments in trial

序号	处理	代号
1	常量无机肥	IF
2	鸡粪 1(N 56.25 kg•hm ⁻²) + 常量无机肥	CM1 + IF
3	鸡粪 2(N 112.5 kg•hm ⁻²) + 常量无机肥	CM2 + IF
4	鸡粪 3(N 225 kg•hm ⁻²) + 常量无机肥	CM3 + IF
5	鸡粪 4(N 450 kg•hm ⁻²)	CM4

1.2 供试土壤

供试土壤为河流冲积物发育成的菜园土,质地为粉壤土.经测试,土壤基本性状为:pH 7.63,铵态氮 94.4 mg•kg⁻¹,硝态氮 46.1 mg•kg⁻¹,速效磷(P₂O₅)405.1 mg•kg⁻¹,有效钾(K₂O)456.1 mg•kg⁻¹,盐分 1.66 g•kg⁻¹,全 Pb、Cd、Cu、Zn、Cr、As 含量分别为 71.3、0.247、14.1、63.1、26.3、7.3 mg•kg⁻¹.

1.3 供试鸡粪

实验用鸡粪采自集约化养殖场.鸡粪风干后主要物质含量为:水分 8.3%,盐分 24.3 g•kg⁻¹,全 N、P、K 含量分别为 34.8、11.3、18.8 g•kg⁻¹,重金属 Pb、Cd、Cr、Cu、Zn、As 含量分别为 1.7、0.18、19.5、117.7、172.0、39.6 mg•kg⁻¹.鸡粪经堆沤,在每茬实验前采集鸡粪样本测定其水分及全氮含量,按表 1 计算每茬鸡粪用量.处理 2~4 全部鸡粪作基肥施入,处理 5 鸡粪一半用作基肥,另一半作 1 次追肥施入.

1.4 植株样本采集及测定方法

第 1 茬菜心品种为四九,第 2~4 茬为迟菜心.每茬菜心在成熟期收获,收获时记录每个小区地上部产量,同时采集植株地上部样本.样本重金属分别用以下方法进行测定:As,GB/T 5009.11-2003,氢化物原子荧光光度法;Pb,GB/T 5009.12-2003,石墨炉原子吸收光谱法;Cd,GB/T 5009.15-2003,石墨炉原子吸收光谱法;Cr,GB/T 5009.123-2003,原子吸收石墨炉法;Cu,GB/T 5009.13-2003,原子吸收光谱法;Zn,GB/T 5009.14-2003,原子吸收光谱法.重金属测定过程中用标准物质 GBW 07602、GBW 07603 进行

质量控制.

1.5 数据处理

用 Excell 和 SAS 软件(1989~1996 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)进行数据处理和统计.

2 结果与分析

2.1 菜心产量

4 茬不同处理菜心(*Brassica parachinensis*, BP)产量见表 2.第 1 茬菜心生长期短,仅为 17 d.尽管处理间差异未具统计意义,但与单施无机肥处理相比,鸡粪单施或与无机肥配施处理均降低菜心产量,其中单施鸡粪处理产量下降最为明显.第 2 茬由于生长期较长(41 d)且温度适宜,所有施用鸡粪处理均明显或显著提高菜心产量,而且配施处理产量有随鸡粪用量增加而提高的趋势.第 3 茬(28 d)所有施用鸡粪处理均降低菜心产量,而且产量与鸡粪纯氮用量呈显著负相关关系($y = -0.1178x + 12.6875$, $R^2 = 0.9078$).第 4 茬(52 d)除单施鸡粪处理减产外,其它配施处理均比单施无机肥处理提高菜心产量,但产量增幅随鸡粪用量提高而下降.从不同处理连续 4 茬菜心总产量来看,3 个配施处理比单施鸡粪处理显著增产,比单施无机肥处理增产 10.1%~11.0%.图 1 显示,不同茬别所有处理菜心平均产量存在较大差异,其中第 2 茬产量显著高于其它茬别.

本实验施用鸡粪对不同茬别菜心产量有不同影响,也有施用 1 茬禽畜粪对作物产量的影响既有增产也有减产的报道^[19,20].这主要由以下原因造成:首先,禽畜粪肥效缓,养分释放需要较长时间,施用大量禽畜粪肥有利于提高生长期长的作物产量,对短生长期作物由于微生物的夺氮作用而容易导致当茬供氮不足而降低产量.本实验不同茬别菜心生长期长短及期间气温均有较大差别,故不同茬别菜心产量也存在较大差别.其次,本实验所用鸡粪除含有氮、磷、钾养分外,还含有较高的盐分(24.3 g•kg⁻¹),盐分含量甚至高于磷、钾养分含量.本实验前 3 茬由于降雨量极低,连续 3 茬施用鸡粪已造成土壤盐分累积,土壤从实验前的轻盐化变为中盐化,而且盐分含量增量有随鸡粪用量增加而提高的趋势^[21].过量的盐分可导致减产^[22],这可能是第 3 茬施用鸡粪处理不但比单施无机肥处理降低菜心产量,而且产量随鸡粪用量提高而下降的主要原因.第 4 茬由于有强降雨,土壤盐分被淋洗^[21],对菜心的不良影响降低.另外,有报道指出禽畜粪中通常含有抗氧化剂、霉菌抑制剂等多种有机物质,而这些物质对多数土

壤微生物具有毒性^[23],连续施用会对土壤质量有负面影响^[24],从而对作物生长不利.综上所述,每茬菜心产量是多种因素综合作用的结果,仅以1茬的产量进行评价是不全面的.

表2 连续4茬菜心产量(鲜重)¹⁾/kg·plot⁻¹
Table 2 Yields of BP in successive four crops (fresh weight)/kg·plot⁻¹

处理	第1茬	第2茬	第3茬	第4茬	4茬总产	增产/%
IF	10.3±3.8	20.9±1.6b	13.0±1.4a	14.4±2.8b	58.6±8.3ab	—
CM1+IF	9.3±2.2	25.3±6.7ab	12.6±5.3ab	17.4±1.3a	64.7±12.4a	10.4
CM2+IF	8.6±2.5	28.5±8.1a	10.9±0.9ab	16.6±0.8ab	64.5±9.4a	10.1
CM3+IF	9.0±1.9	31.8±1.2a	9.1±2.8ab	15.2±0.6ab	65.1±0.6a	11.0
CM4	8.1±2.3	27.9±1.4ab	7.9±0.4b	9.0±0.7c	52.9±2.4b	-9.8

1)每列数据经LSD检验,字母不相同者为差异显著($p<0.05$),下同

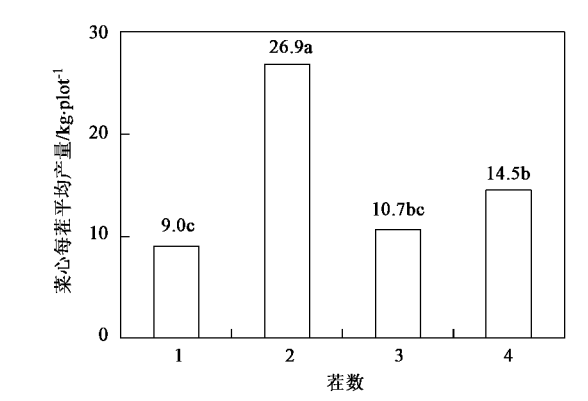


图1 不同茬别所有处理菜心平均产量

Fig.1 Mean yields of BP of all treatments in various crops

2.2 菜心重金属含量

2.2.1 As

表3 不同施肥处理菜心As含量(以干重计)/mg·kg⁻¹

Table 3 As contents of BP in various treatments (dry basis)/mg·kg⁻¹

处理	第1茬	第2茬	第3茬	第4茬
IF	0.366±0.044	0.259±0.019ab	0.357±0.029b	0.455±0.087
CM1+IF	0.392±0.027	0.236±0.033b	0.381±0.099b	0.465±0.072
CM2+IF	0.415±0.131	0.347±0.109ab	0.455±0.034ab	0.480±0.041
CM3+IF	0.485±0.016	0.317±0.123ab	0.494±0.078ab	0.515±0.037
CM4	0.515±0.183	0.437±0.144a	0.542±0.035a	0.509±0.049

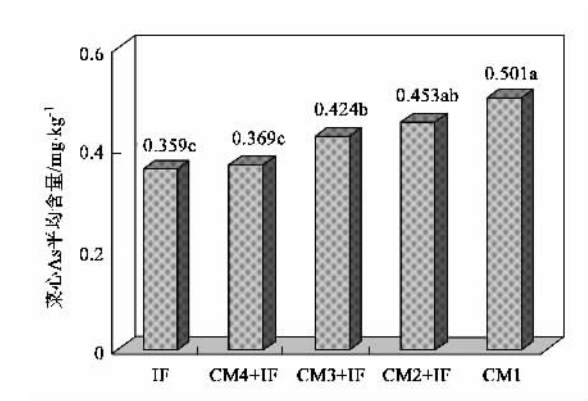


图2 不同处理连续4茬菜心As平均含量

Fig.2 Mean As contents of BP of successive four crops in various treatments

连续4茬不同处理菜心As含量见表3.除第2茬CM1+IF处理外,其它4茬所有施用鸡粪处理均比单施无机肥处理提高菜心As含量,而且第1~3茬菜心As含量与鸡粪纯氮用量间均存在显著或极显著正相关关系(关系式略).虽然4茬菜心As含量均没有超过我国蔬菜卫生标准,但图2显示,连续4茬菜心As平均含量随鸡粪纯氮用量增加而显著提高($y=0.000320x+0.3673$, $R^2=0.9244$).而且,随施用茬数增加,除第2茬因产量的稀释作用外,后茬所有处理菜心As平均含量有提高趋势(图3).已有研究指出,鸡粪中As约有70%~75%为水溶性^[12,25],对作物的有效性较高.本实验所用鸡粪As含量达到39.6mg·kg⁻¹,提高鸡粪用量或连续施用均可提高菜心As含量.

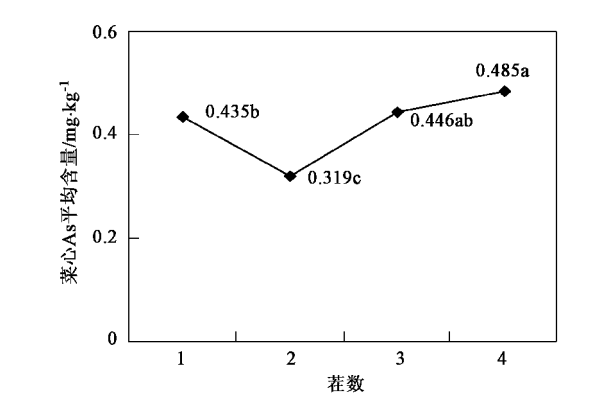


图3 不同茬别所有处理菜心As平均含量

Fig.3 Mean As contents of BP of all treatments in various crops

2.2.2 Pb

连续4茬菜心Pb含量显示(表4),第1茬所有施肥处理的含量非常接近,第2茬所有施用鸡粪处理均比单施无机肥处理明显或显著降低Pb含量,但在第3茬则提高Pb含量,第4茬处理间的差异没有明显规律.总的来看,不同处理连续4茬Pb平均含量没有表现出明显规律(图4).然而,随着种植茬数

的增加,第1、3、4茬所有处理菜心Pb平均含量表现出提高的趋势(图5),第2茬由于产量的稀释作用而使含量最低.本实验所用鸡粪Pb含量很低($1.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),但供试土壤Pb含量相对很高($71.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),上述结果表明在本实验鸡粪用量范围内,连续多茬施用鸡粪有促进菜心吸收土壤Pb的趋势.

2.2.3 Cr

表4 不同施肥处理菜心Pb含量(以干重计)/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 4 Pb contents of BP in various treatments (dry basis)/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

处 理	第1茬	第2茬	第3茬	第4茬
IF	1.061 ± 0.160	$0.792\pm0.051\text{a}$	$1.023\pm0.165\text{c}$	1.587 ± 0.332
CM1+IF	1.062 ± 0.184	$0.613\pm0.104\text{b}$	$1.085\pm0.154\text{bc}$	1.667 ± 0.127
CM2+IF	1.00 ± 0.416	$0.725\pm0.110\text{ab}$	$1.235\pm0.215\text{abc}$	1.663 ± 0.248
CM3+IF	1.087 ± 0.30	$0.583\pm0.0\text{b}$	$1.316\pm0.189\text{ab}$	1.377 ± 0.127
CM4	1.031 ± 0.373	$0.613\pm0.052\text{b}$	$1.374\pm0.338\text{a}$	1.450 ± 0.331

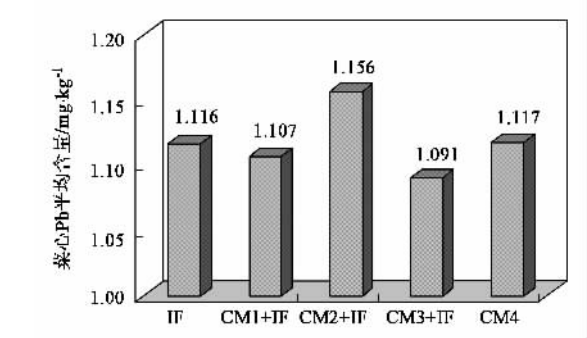


图4 不同处理连续4茬菜心Pb平均含量

Fig.4 Mean Pb contents of BP of successive four crops in various treatments

表5为4茬不同处理菜心Cr含量.第1~3茬不同处理间Cr含量虽有一定差别,但均未具统计意义,仅有第4茬单施无机肥处理Cr含量显著高于所有施用鸡粪处理.从不同处理连续4茬的平均含量来看(图6),菜心Cr含量随鸡粪纯氮用量的增加而显著降低($y=-0.000772x+1.4161$, $R^2=0.8078$).然而,随着种植茬数的增加,每茬所有处理

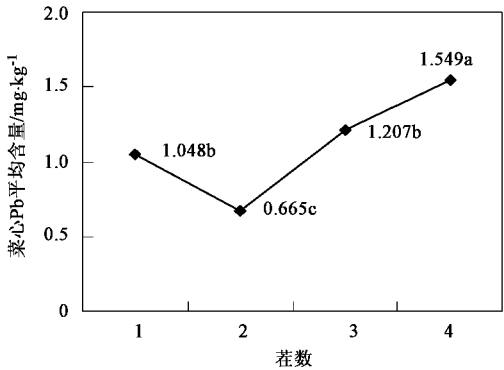


图5 不同茬别所有处理菜心Pb平均含量

Fig.5 Mean Pb contents of BP of all treatments in various crops

菜心Cr平均含量却有增加的趋势(图7),与不同处理连续4茬的平均含量变化规律有矛盾.本实验用鸡粪和土壤Cr含量分别为 19.5 和 $26.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,两者差别不大.目前对禽畜粪施入土壤后禽畜粪自身Cr及土壤原有Cr的活性动态变化缺乏研究比较,为合理解释本实验结果和安全施用禽畜粪,尚需对禽畜粪和土壤中Cr的活性变化进行深入研究.

表5 不同施肥处理菜心Cr含量(以干重计)/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 5 Cr contents of BP in various treatments (dry basis)/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

处 理	第1茬	第2茬	第3茬	第4茬
IF	0.912 ± 0.127	1.733 ± 1.030	1.237 ± 0.264	$2.169\pm0.574\text{a}$
CM1+IF	0.802 ± 0.064	1.697 ± 1.095	1.237 ± 0.557	$1.574\pm0.094\text{b}$
CM2+IF	0.802 ± 0.045	1.264 ± 0.420	1.732 ± 0.722	$1.357\pm0.352\text{b}$
CM3+IF	0.813 ± 0.056	0.861 ± 0.283	1.590 ± 0.694	$1.482\pm0.162\text{b}$
CM4	0.803 ± 0.125	1.015 ± 0.161	1.447 ± 0.50	$1.183\pm0.251\text{b}$

2.2.4 Cd

如表6所示,第1、2茬不同处理间菜心Cd含量

均以单施无机肥处理含量最高,第3、4茬处理间差异不明显.然而,从不同处理连续4茬Cd平均含量

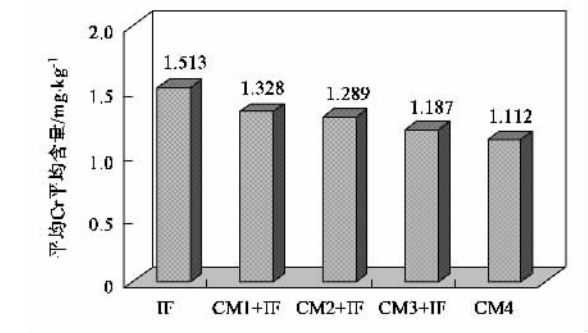


图 6 不同处理连续 4 茬菜心 Cr 平均含量

Fig.6 Mean Cr content of BP of successive four crops in various treatments

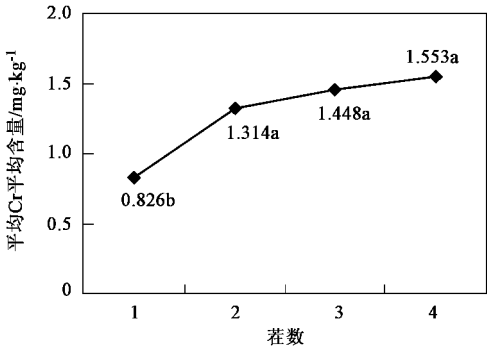


图 7 不同茬别所有处理菜心 Cr 平均含量

Fig.7 Mean Cr content of BP of all treatments in various crops

表 6 不同施肥处理菜心 Cd 含量(以干重计)/mg·kg⁻¹

Table 6 Cd contents of BP in various treatments (dry basis)/mg·kg ⁻¹				
处 理	第 1 茬	第 2 茬	第 3 茬	第 4 茬
IF	0.483 ± 0.069a	0.353 ± 0.033a	0.247 ± 0.017	0.305 ± 0.053
CM1 + IF	0.460 ± 0.066ab	0.273 ± 0.012b	0.299 ± 0.091	0.283 ± 0.018
CM2 + IF	0.385 ± 0.040b	0.310 ± 0.033ab	0.234 ± 0.026	0.250 ± 0.004
CM3 + IF	0.445 ± 0.014ab	0.297 ± 0.033ab	0.277 ± 0.106	0.253 ± 0.009
CM4	0.368 ± 0.069b	0.282 ± 0.043b	0.182 ± 0.014	0.258 ± 0.041

来看(图 8),整体上 Cd 含量有随鸡粪用量增加而降低的趋势,而且随着种植茬数增加,每茬所有处理 Cd 平均含量也有下降的趋势(图 9).有研究指出施用低 Cd 猪厩肥降低土壤有效 Cd 含量^[26],而且禽畜粪中 Cd 对萝卜的有效性随粪肥用量增加而下降^[27].这有助于解释本实验即使在土壤及鸡粪 Cd 含量均较低(分别为 0.247 和 0.180 mg·kg⁻¹)情况下,施用鸡粪有利于降低菜心 Cd 含量.

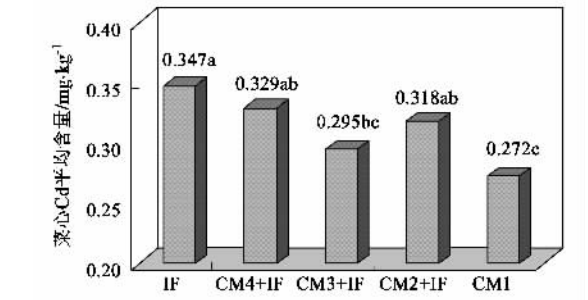


图 8 不同处理连续 4 茬菜心 Cd 平均含量

Fig.8 Mean Cd contents of BP of successive four crops in various treatments

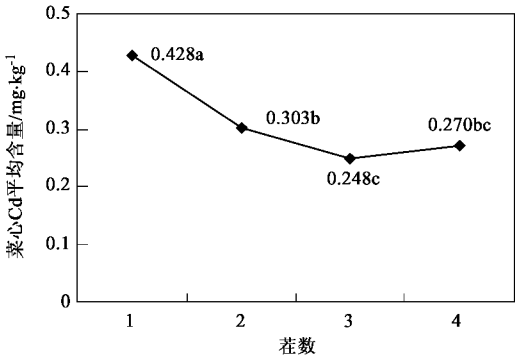


图 9 不同茬别所有处理菜心 Cd 平均含量

Fig.9 Mean Cd contents of BP of all treatments in various crops

2.2.5 Cu

表 7 中 4 茬菜心 Cu 含量显示,每茬不同处理间差异均未达统计显著水平.所有施用鸡粪处理连续 4 茬菜心 Cu 平均含量高于单施无机肥处理,其中以 CM2 + IF 处理最高(图 10).在不同茬别所有处理菜

心 Cu 平均含量中(图 11),第 1 茬菜心虽然生长期最短但菜心 Cu 含量最高,第 2 茬大概由于产量的稀释作用而使含量最低,从第 2 ~ 4 茬 Cu 含量有提高的趋势.最近的研究^[28]认为,与土壤腐殖酸相比,猪粪中腐殖酸对铜的络合能力要小得多,猪粪施入土壤可降低土壤腐殖酸对铜的络合能力,而且这种作用随猪粪用量的增加而提高.本实验用鸡粪 Cu 含量(117.7 mg·kg⁻¹)远高于土壤 Cu 含量(14.1 mg·kg⁻¹).由此推断,施用 Cu 含量高的鸡粪有利于提高作物有效铜的供应,故第 2 ~ 4 茬菜心 Cu 含量不断提高.然而,第 1 茬菜心 Cu 含量在 4 茬中最高,具体原因还需对刚施入土壤后鸡粪铜的有效性进行研究.

表 7 不同施肥处理菜心 Cu 含量(以干重计)/mg·kg⁻¹

Table 7 Cu contents of BP in various treatments (dry basis)/mg·kg ⁻¹				
处 理	第 1 茬	第 2 茬	第 3 茬	第 4 茬
IF	6.280 ± 0.634	5.493 ± 0.478	5.355 ± 0.423	5.980 ± 0.477
CM1 + IF	6.852 ± 1.596	5.392 ± 0.271	5.647 ± 0.409	6.397 ± 0.193
CM2 + IF	6.435 ± 1.008	5.547 ± 0.416	5.977 ± 0.471	6.140 ± 0.687
CM3 + IF	6.540 ± 0.706	5.495 ± 0.504	5.922 ± 0.938	6.635 ± 0.415
CM4	6.122 ± 0.743	5.443 ± 0.960	5.811 ± 0.311	6.085 ± 0.165

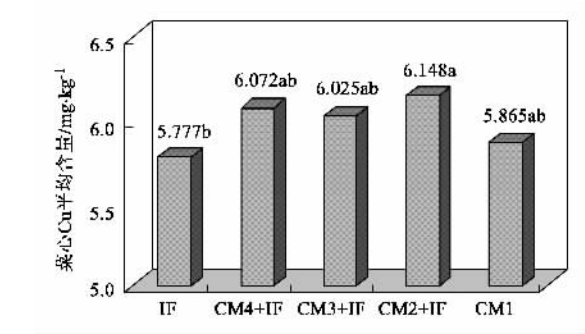


图 10 不同处理连续 4 茬菜心 Cu 平均含量
Fig.10 Mean Cu contents of BP of successive four crops
in various treatments

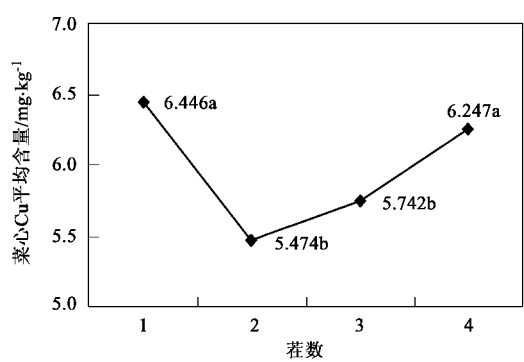


图 11 不同茬别所有处理菜心 Cu 平均含量
Fig.11 Mean Cu contents of BP of all treatments in various crops

2.2.6 Zn

不同处理菜心 Zn 含量见表 8. 第 1、2 茬不同处理 Zn 含量差异不明显, 但第 3、4 茬施用鸡粪处理菜心 Zn 含量均明显或显著高于单施无机肥处理. 图 12 显示不同处理连续 4 茬菜心 Zn 平均含量, 所有施用鸡粪处理均比单施无机肥处理显著提高 Zn 含量, 但 Zn 含量与鸡粪纯氮用量间的相关关系未达显著水平. 而且, 随着种植茬数的增加, 除第 2 茬外(产

量稀释作用影响), 后茬所有处理菜心 Zn 平均含量呈上升趋势(图 13). 本实验用鸡粪 Zn 含量为 172.0 mg·kg⁻¹, 近 3 倍于土壤 Zn 含量(63.1 mg·kg⁻¹). 研究认为^[10,28], 施用鸡粪或猪粪均可提高 Zn 在土壤的移动性, 从而增强 Zn 的活性. 因此, 本实验提高鸡粪用量或连续多茬施用鸡粪, 有利于提高作物有效 Zn 的供应, 提高菜心 Zn 含量.

表 8 不同施肥处理菜心 Zn 含量(以干重计)/mg·kg⁻¹

Table 8 Zn contents of BP in various treatments (dry basis)/mg·kg ⁻¹				
处 理	第 1 茬	第 2 茬	第 3 茬	第 4 茬
IF	52.9 ± 2.706	47.7 ± 2.848	50.6 ± 3.732b	54.3 ± 4.405b
CM1 + IF	51.8 ± 3.617	46.3 ± 1.633	55.7 ± 2.364ab	63.2 ± 9.780a
CM2 + IF	55.2 ± 1.806	49.7 ± 0.940	56.3 ± 3.641ab	61.3 ± 12.038ab
CM3 + IF	54.8 ± 4.591	49.6 ± 3.602	55.5 ± 4.308ab	63.7 ± 11.248a
CM4	53.2 ± 2.041	48.8 ± 4.205	57.6 ± 4.829a	63.8 ± 9.653a

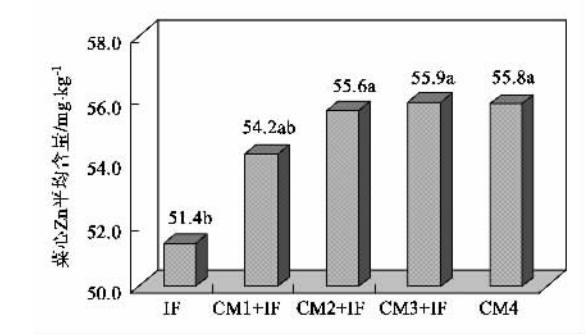


图 12 不同处理连续 4 茬菜心 Zn 平均含量
Fig.12 Mean Zn contents of BP of successive four crops
in various treatments

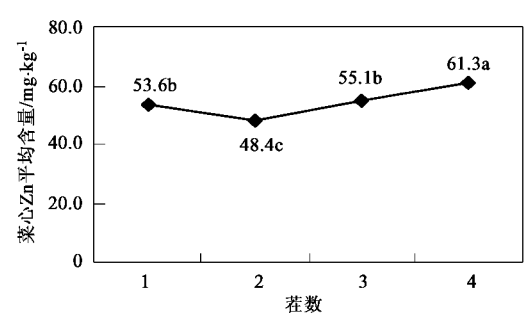


图 13 不同茬别所有处理菜心 Zn 平均含量
Fig.13 Mean Zn contents of BP of all treatments in various crops

3 讨论

由于在饲料中添加铜、锌制剂具有良好的经济回报,国际养殖业上普遍添加铜锌制剂^[4,29].我国饲料卫生标准中没有限定铜、锌的添加量^[30],因此国内养殖业普遍使用高铜高锌配方^[31].近年来广东、广西、湖南、湖北、浙江金华和杭州、福建、山东、辽宁等地均发生过量使用含铜、锌制剂而导致禽畜中毒事件.另外,有机肿制剂由于对禽畜安全、低毒、有效,被视为优秀添加剂而在国际上广泛使用^[4,31].我国饲料卫生标准规定在不添加有机肿制剂条件下饲料总砷不得超过 $2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,但对有机肿制剂的用量并未作出限制^[31].本实验用鸡粪 As 含量为 $39.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,同时铜、锌含量也较高,显然与该养殖场使用有机肿及铜、锌制剂有关.然而,根据在广东省进行的养殖场禽畜粪主要物质含量调查结果^[7],本实验所用鸡粪 As、Cu、Zn 含量仍属较低水平.

本研究大田实验结果显示,尽管按传统的以鸡粪含氮量计算其用量并未导致菜心重金属含量超标(以鲜重计),而且施用鸡粪整体上降低菜心 Cd 和 Cr 含量,但随着鸡粪用量及连续施用茬数的增加,菜心 As、Zn 含量均提高,Cu 含量则为鸡粪与无机肥配施处理比鸡粪或无机肥单施处理有明显提高.Zhou 等的盆栽实验结果表明,当茬施用高量含锌猪粪的萝卜锌含量已超过国家食品卫生标准^[19].由于现代集约化养殖禽畜粪肥组分复杂且含有多种对环境有害物质,计算此类粪肥用量时,应对其主要组分的作物和环境效应进行全面考虑才是明智的^[32].在无公害或绿色农产品生产实践中,应避免一次性大量施用或连续施用养殖场禽畜粪肥.由于绝大部分的禽畜粪被作为肥料施入农田,出于对人类健康和环境安全的考虑,在养殖业中如何合理使用重金属类等添加剂将成为一个非常值得探讨的问题.

另外,目前对于禽畜粪施入土壤后禽畜粪自身带入的重金属及土壤中原有重金属的活性变化及其比较研究尚非常有限.而且,已有研究多着眼于重金属在某一时间的状态和活性,缺乏在一段时间内重金属活性的动态变化.因此,已有研究并不能很好解释本实验菜心 Cr 含量随鸡粪用量增加而降低,但随着施用茬数增加而提高的现象.由于禽畜粪重金属问题主要为饲料铜、锌、有机肿制剂残留较高,对 Cu、Zn 和 As 3 种元素在土壤中的活性动态变化及其影响因子需要进行重点研究.

4 结论

(1)所有施用鸡粪处理均比单施无机肥处理降低第 1、3 茬菜心产量,提高第 2 茬产量,而且第 2 茬产量随鸡粪用量增加而提高,但第 3 茬随鸡粪用量增加而下降.第 4 茬鸡粪和无机肥配施处理均比鸡粪或无机肥单施处理提高产量,但产量增幅随鸡粪用量增加而下降.从不同处理连续 4 茬总产量看,配施处理高于鸡粪或无机肥单施处理.不同茬别所有处理菜心平均产量存在较大差异,第 2 茬产量显著高于其它茬别.

(2)施用鸡粪对菜心重金属含量的影响与重金属种类有关.从不同处理连续 4 茬菜心重金属平均含量来看,所有施用鸡粪处理可提高菜心 As、Zn 含量,降低 Cr、Cd 含量,配施鸡粪处理提高 Cu 含量,处理间 Pb 含量无明显规律.除第 2 茬因产量稀释作用影响外,不同茬别所有处理菜心 As、Pb、Cr、Cu、Zn 平均含量随施用茬数增加而提高,Cd 平均含量则下降.

参考文献:

- [1] Morrison J L. Distribution of arsenic from poultry litter in broiler chickens, soil and crops[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1969, **17**: 1288 ~ 1290.
- [2] 闫秋良,刘福柱.通过营养调控缓解畜禽生产对环境的污染[J]. *家畜生态*, 2002, **23**(3): 68 ~ 70.
- [3] Cang L, Wang Y J, Zhou D M, *et al.* Study of heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu province[J]. *Journal of Environmental Science*, 2004, **16**(3): 371 ~ 374.
- [4] Jackson B P, Bertsch P M, Cabrera M L, *et al.* Trace element speciation in poultry litter[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2003, **32**: 535 ~ 540.
- [5] Li Y X, Chen T B. Contents of additive arsenic in Beijing pig feeds and the residues in pig manure[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2005, **45**(4): 356 ~ 367.
- [6] 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]. *Bioresource Technology*, 1999, **70**: 23 ~ 31.
- [7] 姚丽贤,李国良,党志.集约化养殖禽畜粪主要化学物质调查[J]. *应用生态学报*, 2006, **17**(10): 1989 ~ 1992.
- [8] 张树清,张夫道,刘秀梅,等.规模化养殖畜禽粪主要有毒成分测定分析研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, **11**(6): 822 ~ 829.
- [9] Franzluebbers A J, Wilkinson S R, Stuedemann J A. Bermudagrass management in the southern Piedmont, USA IX. Trace elements in soil with broiler litter application[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2004, **33**: 778 ~ 784.
- [10] Han F X, Kingery W L, Selim H M, *et al.* Accumulation of heavy metals in a long-term poultry waste-amended soil[J]. *Soil Science*, 2000, **165**: 260 ~ 268.

- [11] Kingery W L, Wood C W, Delaney D P, *et al.* Impact of long-term land application of broiler litter on environmentally related soil properties[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1994, **23**: 139 ~ 147.
- [12] Rutherford D W, Bednar A J, Garbarino J R, *et al.* Environmental fate of roxarsone in poultry litter. Part II. Mobility of arsenic in soils amended with poultry litter[J]. *Environmental Science and Technology*, 2003, **37**(8): 1515 ~ 1520.
- [13] Keller A, Schulin R. Modelling regional-scale mass balances of phosphorus, cadmium and zinc fluxes on arable and dairy farms[J]. *European Journal of Agronomy*, 2003, **20**(1 ~ 2): 181 ~ 198.
- [14] Campagnolo E R, Johnson K R, Karpatis A, *et al.* Antimicrobial residues in animal waste and water resources proximal to large-scale swine and poultry feeding operations [J]. *Science of Total Environment*, 2002, **299**(1 ~ 3): 89 ~ 95.
- [15] Basso B, Ritchie J T. Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize-alfalfa rotation in Michigan[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2005, **108**(4): 329 ~ 334.
- [16] Muhammad Tariq Siddique, Robinson J S. Phosphorus sorption and availability in soils amended with animal manures and sewage sludge [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2003, **32**: 1114 ~ 1121.
- [17] Muñoz G R, Kelling K A, Powell J M, *et al.* Comparison of estimates of first-year dairy manure nitrogen availability or recovery using nitrogen-15 and other techniques[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2004, **33**: 719 ~ 727.
- [18] Eghball B. Soil properties as influenced by phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, **94**: 128 ~ 135.
- [19] Zhou D M, Hao X Z, Wang Y J, *et al.* Copper and Zn uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures[J]. *Chemosphere*, 2005, **59**(2): 167 ~ 175.
- [20] 秦鱼生, 涂仕华, 冯文强. 有机无机肥料对蔬菜产量和硝酸盐累积的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, **11**(5): 670 ~ 674.
- [21] 姚丽贤, 操君喜, 李国良, 等. 连续施用养殖场鸡、鸽粪对土壤养分和重金属含量的影响[J]. *环境科学*, 2007, **28**(4): 819 ~ 825.
- [22] Tejada M, Gonzalez J L. Beet vinasse applied to wheat under dryland conditions affects soil properties and yield[J]. *European Journal of Agronomy*, 2005, **23**: 336 ~ 347.
- [23] Gupta G, Gardner W. Use of clay mineral (montmorillonite) for reducing poultry litter leachate toxicity (EC₅₀) [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2005, **118**(1 ~ 3): 81 ~ 83.
- [24] Plaza C, Hernández D, García-Gil J C, *et al.* Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, **36**(10): 1577 ~ 1585.
- [25] Jackson B P, Miller W P, Sumner M E, *et al.* Trace element solubility from land application of fly ash/organic waste mixtures[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1999, **28**: 639 ~ 647.
- [26] 华璐, 白铃玉, 韦东普, 等. 有机肥-镉-锌交互作用对土壤镉锌形态和小麦生长的影响[J]. *中国环境科学*, 2002, **22**(4): 346 ~ 350.
- [27] Li S T, Liu R L, Wang M, *et al.* Phytoavailability of cadmium to cherry-red radish in soils applied composted chicken or pig manure [J]. *Geoderma*, 2006, **136**(1-2): 260 ~ 271.
- [28] Diana Hernández, César Plaza, Nicola Senesi, *et al.* Detection of copper(II) and zinc(II) binding to humic acids from pig slurry and amended soils by fluorescence spectroscopy [J]. *Environmental Pollution*, 2006, **143**(2): 212 ~ 220.
- [29] Jondreville C, Revy P S, Dourmad J Y. Dietary means to better control the environmental impact of copper and zinc by pigs from weaning to slaughter[J]. *Livestock Production Science*, 2003, **84**(2): 147 ~ 156.
- [30] http://www.chinafeed.org.cn/cms/_code/government/itemdetail.php?column_id=101&item_id=67652
- [31] 李尚波, 麦波, 李兆仁. 畜禽十大高效饲料添加剂[M]. 沈阳: 辽宁科学出版社, 2000. 144 ~ 152.
- [32] Bolan N S, Adriano D C, Santiago Mahimairaja. Distribution and bioavailability of trace elements in livestock and poultry manure by-products [J]. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2004, **34**(3): 291 ~ 338.