

任洪涛,林霖.不同质量浓度 Cu^{2+} 对草鱼脑、肝胰脏组织结构及肝胰脏中 SOD 活性的影响[J].江苏农业科学,2017,45(6):162-165.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.06.042

不同质量浓度 Cu^{2+} 对草鱼脑、肝胰脏组织结构及肝胰脏中 SOD 活性的影响

任洪涛,林霖

(河南科技大学动物科技学院,河南洛阳 471003)

摘要:在水温 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 下,采用静水测试法研究养殖水体中不同质量浓度 $(0, 0.093\ 75, 0.187\ 5, 0.375, 0.75, 1.5\ \text{mg/L})$ Cu^{2+} 对体质量 $10\ \text{g}$ 左右草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 脑和肝胰脏的组织结构及肝胰脏中超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的影响,试图探讨重金属的毒性积累和毒性机制。结果表明, Cu^{2+} 对草鱼的 24、48、96 h 半数致死浓度 (LC_{50}) 分别为 $1.278, 1.227, 0.276\ \text{mg/L}$, 由 $(48\ \text{h}\ \text{LC}_{50} \times 0.3) / (24\ \text{h}\ \text{LC}_{50} / 48\ \text{h}\ \text{LC}_{50})^2$ 和公式 $96\ \text{h}\ \text{LC}_{50} \times 0.1$ 计算出安全质量浓度分别为 $0.361, 0.011\ 9\ \text{mg/L}$ 。中毒初期草鱼脑细胞轻微聚集,细胞核微增大;随时间延长,脑异常加重,细胞聚集明显,核增大几乎充满整个脑细胞;肝胰脏细胞膨大,离散,核缩小,胞浆轻微溢出,少数肝胰脏细胞胞浆溢出,残留的核物质散乱分布,肝胰脏细胞凝固性坏死。随着 Cu^{2+} 浓度升高和时间延长,草鱼肝脏中 SOD 活性降低。

关键词:草鱼; Cu^{2+} ; 质量浓度; 组织器官; SOD

中图分类号: S943.112.91

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2017)06-0162-03

鱼类作为人类重要的优质蛋白质来源被广泛食用,但是随着近年来工业的发展,大量的工业废水以及鱼类饲料中所含有的过量 Cu^{2+} 流入水域中,使鱼类的生存水环境受到了严重污染,同时也影响了鱼类的品质。重金属在食物链中具有富集作用,会随着生物等级的升高而富集,当被人体食用后在人体的各个组织器官中累积,从而引发机体的慢性中毒,危害人体健康,甚至危及生命^[1]。金属铜是水生生物所必需的微量元素,对多种与生长发育相关的生物酶的组成和功能起着重要作用。适量的铜有利于维持水产动物内环境的稳定和机体的平衡,在机体造血、生长繁殖、维持生产性能、提高机体免疫力等方面具有非常重要的作用^[2]。但过量的铜能够引发蛋白质、脂质以及 DNA 的损伤,特别是在高浓度时,则会引起神经变性的失调^[3]。草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 作为我国淡水养殖四大家鱼之一,也是主要的池塘养殖品种,养殖范围与面积非常广,草鱼在全国各地的河流、湖泊、水库中皆有分布。每年的草鱼总产量居于所养水产养殖品种的前列,草鱼肉质细嫩、个体大、肌间刺少;含有丰富的不饱和脂肪酸,营养价值非常高;另外草鱼的消化力强,生长快,适应能力强,具有极高的经济和研究价值。目前有关草鱼的研究主要集中在营养价值、转基因抗病、人工繁殖、疾病防治等方面,而对于养殖水环境重金属污染对草鱼毒性效应方面的研究较少。

养殖水环境中的 Cu^{2+} 的毒性主要取决于在生物体内的吸收和积累,所以,研究在一定含量和时间下, Cu^{2+} 在草鱼鱼

种组织中的吸收、积累的影响,有利于揭示重金属离子的吸收、积累机制。因此,本试验主要研究了养殖水体中不同浓度 Cu^{2+} 对草鱼脑和肝胰脏组织学及肝胰脏中超氧化物歧化酶活性的影响,为研究重金属的毒性积累和毒性机制提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

试验用草鱼购自河南省洛阳市水产市场,暂养 3 d 后进行试验。暂养期间 24 h 连续充气,每天投喂市售商品 s 饲料 1~2 次,并及时清理残饵及粪便等杂物。正式试验前停食 1 d,选取体长 $8.0 \sim 10.0\ \text{cm}$ 、体质量约 $10\ \text{g}$ 、体质健壮、规格整齐的个体进行试验。试验在 6 L 水桶中进行。 Cu^{2+} 由硫酸铜 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 分析纯,上海化学试剂总厂生产) 配制。

1.2 方法

试验用水为曝气 24 h 的自来水,水温为 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$, pH 值为中性 (7.0 ± 0.5) , 试验期间连续充气。每水桶中加入 1 L 药液、10 尾草鱼,不投喂也不充氧。死亡标准为腹部朝上、失去游动能力、针刺无反应,死亡个体及时捞出。

1.2.1 预试验 以 10 倍之差估计 5 个浓度,每个浓度用 5 尾鱼苗,试验处理 24 h,分几次进行,分别找出 Cu^{2+} 的 100% 致死浓度与最小致死浓度,同时记录不同浓度的各个组草鱼鱼苗的反应。

1.2.2 正式试验 本试验采用 $10\ \text{cm}$ 左右、体质量相近的草鱼苗作为试验对象,随机分为 6 组,每组 3 个重复,每个组随机分配 10 尾鱼,放在形状相同的塑料桶内试验 4 d。0 组为对照组,只采用曝气后的自来水进行饲养;其他 1、2、3、4、5 组及各重复依次采用的浓度为 $0.093\ 75, 0.187\ 50, 0.375\ 00, 0.750\ 00, 1.500\ 00\ \text{mg/L}$,溶液的体积均为 1 L。试验过程中,记录好试验开始的时间,随时观察桶内鱼苗的生活状况,并记

收稿日期:2016-01-04

基金项目:河南科技大学博士科研启动基金(编号:09001760);河南科技大学科学研究基金(编号:2014QN059)。

作者简介:任洪涛(1977—),男,河南永城人,博士,讲师,主要研究方向为水产动物分子生物学。E-mail: htn2012@163.com。

录 24、48、72、96 h 各个试验组死亡鱼苗数,算出平均死亡率,用直线内插法求出半数致死量。安全浓度(SC)计算公式: $SC_I = (48\text{ h } LC_{50} \times 0.3) / (24\text{ h } LC_{50} / 48\text{ h } LC_{50})^2$; $SC_{II} = 96\text{ h } LC_{50} \times 0.1$ 。

及时捞出各浓度下死亡的草鱼以及对照组的草鱼,取出肝胰脏和脑组织,将一部分组织放入 10% 甲醛溶液中固定,用来制作组织切片;另一部分肝脏装入 1.5 mL EP 管中并做好明确标记,置于 -20 ℃ 冰箱中保存,最后采用试剂盒(南京建成生物工程研究所)的方法测定肝胰脏组织中超氧化物歧化酶(SOD)的活性。

1.3 数据的统计与分析

试验测得的所有数据均采用 Excel 进行整理;运用 SPSS 软件中的 One - Way ANOVA 检验进行统计分析。

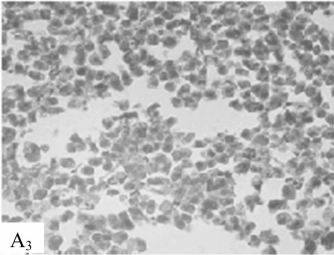
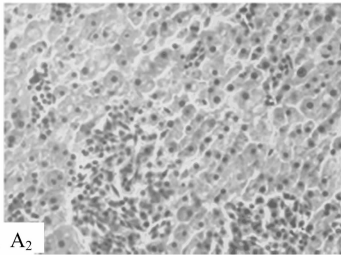
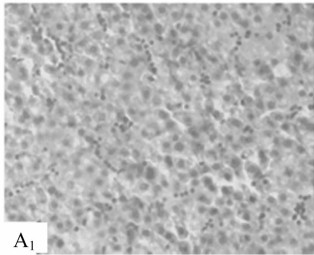
2 结果与分析

2.1 草鱼 Cu²⁺ 中毒的行为症状

草鱼在试验开始立即变得兴奋,3 h 后开始出现不良症状,约 9 h 后出现死鱼。高浓度试验组鱼苗兴奋性比低浓度组高,1 h 后高浓度组试验鱼游动加快上下窜动,常浮出水面试图跳出塑料桶,此时试验药液浑浊。低浓度组鱼苗也出现相同症状,但约 6 h 后低浓度组逐渐恢复平静,试验药液逐渐澄清,而高质量浓度组仍有试验鱼试图跳出塑料桶,7 h 后各质量浓度组鱼苗恢复平静,体表分泌 1 层白色絮状黏液,游动减慢,反应较迟钝。随后高质量浓度组有鱼出现身体失去平衡,有侧游翻转等现象,中毒鱼不时挣扎直至死亡。死亡时,胸鳍展开口、鳃盖张开,呈现呼吸困难状态。将中毒后的死鱼进行解剖,与对照组活鱼比较,中毒鱼体表黏液分泌增多,鳃丝肿胀,肝肿大、色泽变暗,胆囊肿大、胆汁充盈,肾脏充血,色泽变暗。鱼苗的体表常伴有溃烂的斑点,死亡后鱼体发白。

2.2 Cu²⁺ 对草鱼的急性毒性

由表 1 可见,Cu²⁺ 浓度与草鱼的平均死亡率之间呈现明显的时间效应和剂量效应关系,即相同的时间内,草鱼的死亡率随着 Cu²⁺ 浓度升高而增加;相同浓度下,草鱼的平均死亡率随着时间的延长而增加。



A₁—空白对照; A₂—Cu²⁺处理 24 h; A₃—Cu²⁺处理 96 h

图1 Cu²⁺对草鱼肝胰脏组织结构的影响(40×)

图 2 表明,对照组草鱼脑细胞完整,可以清晰地分辨出细胞轮廓,无异常;Cu²⁺ 处理 24 h 时,脑组织轻微异常,脑细胞轻微聚集,细胞核轻微增大;Cu²⁺ 处理 96 h 时,脑组织异常严重,脑细胞聚集明显,细胞核明显增大,几乎充满整个脑细胞。Cu²⁺ 诱导自由基介导过程发生改变,脂质过氧化,生物膜被破坏和细胞功能障碍,以上组织病变程度随着处理时间的延长而加深。

不同暴露时间下,Cu²⁺ 浓度与草鱼死亡率的线性回归方程及相应时间下的半致死浓度(LC₅₀)、安全浓度的计算结果如表 2 所示。由表 2 可见,Cu²⁺ 24 h 的半数致死量为 1.278 mg/L,48 h 的半数致死量为 1.227 mg/L,72 h 的半数致死量为 0.276 mg/L,96 h 的半数致死量为 0.119 mg/L,用公式 I 算得的安全浓度为 0.361 mg/L,用公式 II 算得的安全浓度为 0.011 9 mg/L。

表 1 草鱼在不同质量 Cu²⁺ 浓度和暴露时间的死亡率

Cu ²⁺ 浓度 (mg/L)	不同试验时间下的平均死亡率(%)			
	24 h	48 h	72 h	96 h
0	0	0	0	0
0.093 75	0	20	40	50
0.187 50	10	30	40	70
0.375 00	10	30	50	80
0.750 00	30	50	60	90
1.500 00	30	50	80	100

表 2 Cu²⁺ 对草鱼的急性毒性试验线性回归方程、LC₅₀ 及安全浓度

时间 (h)	回归方程	<i>n</i>	<i>r</i>	LC ₅₀ (mg/L)
24	$y = 1.402x + 4.655$	10	0.820	1.278
48	$y = 0.317x + 4.935$	10	0.947	1.227
72	$y = 0.386x + 5.497$	10	0.934	0.276
96	$y = 1.001x + 7.128$	10	0.927	0.119

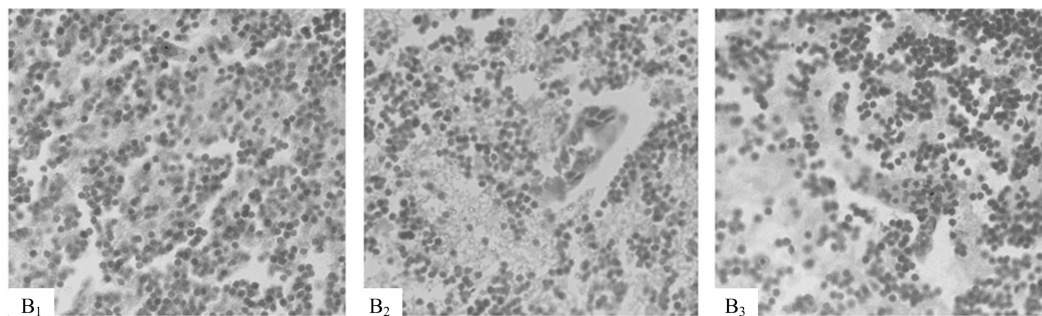
注:*y* 为死亡率;*x* 为浓度对数;*n* 为试验鱼个体数;SC_I、SC_{II} 分别为 0.361、0.011 9 g/mL。

2.3 Cu²⁺ 对草鱼肝胰脏和脑组织结构的影响

组织切片观察发现,Cu²⁺ 处理的草鱼脑细胞出现不同程度的异常(图 1)。图 1 表明,对照组草鱼肝胰脏细胞完整,可以清晰地分辨细胞轮廓,无异常;Cu²⁺ 处理 24 h 时,肝脏细胞结构多不完整,轻微异常,细胞轻微膨大,呈离散状态,细胞核相对缩小,胞浆轻微溢出;Cu²⁺ 处理 96 h 时,肝胰脏细胞明显膨大,无序散程度增大,细胞核明显相对缩小,少数肝细胞胞浆完全溢出,残留的核物质散乱分布,肝细胞出现凝固性坏死,正常壁状结构消失。

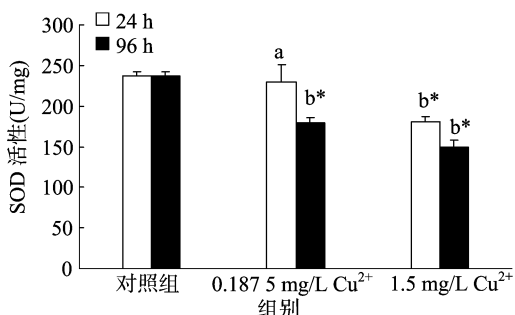
2.4 不同浓度 Cu²⁺ 对草鱼肝脏 SOD 的影响

由图 3 可知,与对照组相比,24 h 时,Cu²⁺ 浓度 0.187 5 mg/L 处理组草鱼肝胰脏 SOD 活性下降不显著,到 96 h 时下降显著;1.5 mg/L 时,24、96 h 时草鱼肝胰脏 SOD 活性下降显著($P < 0.05$)。在 Cu²⁺ 浓度为 0.187 5 mg/L 时,24、96 h 草鱼肝胰脏 SOD 活性差异显著($P < 0.05$);1.5 mg/L 时,24、96 h 草鱼肝胰脏 SOD 活性差异不显著。可见,Cu²⁺ 能够明显



B₁—空白对照; B₂—Cu²⁺处理 24 h; B₃—Cu²⁺处理 96 h

图2 Cu²⁺对草鱼脑组织结构的影响(40×)



柱上不同小写字母表示同一浓度不同时间处理间差异显著($P < 0.05$); “*”表示与对照相比差异显著($P < 0.05$)

图3 Cu²⁺作用下的 SOD 活性值

降低肝脏 SOD 的活性,且浓度越大降低越明显;在同一浓度时,随着时间的延长,Cu²⁺对肝脏 SOD 活性的抑制越明显。

3 讨论

3.1 急性毒性试验

草鱼 Cu²⁺中毒后出现不安症状,游动加快上下窜动。低浓度组鱼苗在一段时间后也出现相同不安症状,但约 6 h 后逐渐恢复平静,试验药液逐渐澄清。而高浓度组仍有试验鱼试图跳出塑料桶,7 h 后各浓度组鱼苗恢复平静,体表分泌 1 层白色絮状黏液,游动减慢反应较迟钝。随后高浓度组有鱼身体失去平衡,出现侧游翻转等现象,中毒鱼不时挣扎直至死亡。这与瞿建国等研究鱼类的中毒症状^[4-6]相似。

本试验中,Cu²⁺浓度与草鱼的平均死亡率之间呈明显的时间效应和剂量效应关系:相同的时间内,草鱼的死亡率随 Cu²⁺浓度升高而增加;相同浓度下,草鱼的平均死亡率随时间的延长而增加。Cu²⁺对草鱼的 24、48、96 h LC₅₀ 分别为 1.278、1.227、0.276 mg/L,SC 分别为 0.361 0、0.011 9 mg/L。随着染毒时间的延长,草鱼对 Cu²⁺的敏感性逐渐增强,LC₅₀ 值越小毒性越强,即 24 h LC₅₀ > 48 h LC₅₀ > 96 h LC₅₀。这与周辉明等报道^[7]相一致。

3.2 Cu²⁺对草鱼脑和肝胰脏组织结构的影响

本试验结果表明,随着 Cu²⁺暴露时间的延长,草鱼脑组织的形态变化和损坏程度加深:脑细胞轻微聚集,细胞核微增大,几乎充满整个脑细胞。本试验研究发现,草鱼在 Cu²⁺中毒后有过度兴奋的现象,特别是在中毒后期,且在游泳时会出现横冲直撞的现象,身体明显不平衡。这与刘伟等研究 Cu²⁺对锦鲤(*Cyprinus carpio haematopterus*)的急性毒性时锦鲤的中毒现象^[8]很相似。这可能与重金属对脑的影响主要表现在鱼体的神经性反应方面有关,但具体原因还有待于深入研究。

肝胰脏是鱼类重要的解毒器官,同时也是蓄积重金属的主要部位,本试验中 Cu²⁺中毒而死的鱼的肝胰脏损伤主要表现为组织细胞高度分散,出现细胞体积增大,细胞核增大,核仁核膜明显,细胞核被挤向细胞边缘偏离细胞中心,且出现大面积肝细胞解体坏死等现象,肝组织出现局部灶性坏死等病变现象。这与常藕琴等研究 Cu²⁺对剑尾鱼(*Xiphophorus hellerii*)^[9]、王利等研究 Cu²⁺对鲤鱼(*C. carpio*)^[10]以及徐永江研究的 Cu²⁺对半滑舌鲷(*Cynoglossus semilaevis* Gunther)的急性中毒肝胰脏病变症状^[11]基本一致。且徐永江在 Cu²⁺对半滑舌鲷研究中发现,重金属对胚胎发育的毒性由大到小依次为 Cu > Hg > Cd > Zn > Pb^[11],可见 Cu²⁺对水生动物的毒性还是很强的。

3.3 Cu²⁺对 SOD 活性的影响

SOD 作为保护酶系统,能维持体内活性氧的产生和清除的动态平衡,防止自由基的毒害,是机体防御过氧化损害系统的关键酶之一。徐立红等认为,在生理状态下,当某些污染物在体内进行生物转化时会产生氧化还原循环生成大量活性氧,如 O₂^{·-}、·OH、H₂O₂ 等,这些活性氧又可使 DNA 断裂、脂质过氧化、酶蛋白失活等,而引起机体氧化应激反应,在这些活性氧产生及转化中 SOD 等起着非常重要的作用^[12]。唐学玺等研究表明,当生物体受到重度逆境胁迫时,SOD 活性通常会降低,使生物体内积累过量的活性氧,从而导致生物体的伤害^[13]。本试验结果发现,随着浓度升高和试验时间延长,Cu²⁺对肝脏 SOD 活性的抑制越来越明显。在高浓度 Cu²⁺胁迫下,草鱼肝胰组织内的 SOD 活性极显著下降,因此,Cu²⁺胁迫下 SOD 活性的降低、过量的活性氧很可能是 Cu²⁺对草鱼形成毒害的重要原因之一。由于草鱼肝胰脏组织 SOD 活性的降低程度与水体 Cu²⁺污染水平有一定的关系,这一现象可否用 Cu²⁺作为检测水体污染的一种生物学指标,还有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 姚志峰. 铜(Cu²⁺)对中华鲟幼鱼毒性效应的研究[D]. 上海:上海海洋大学,2010.
- [2] 姚纪花,周平凡. 铜、锌和甲胺磷对大鳞副泥鳅胚胎发育和仔鱼成活的影响[J]. 上海水产大学学报,1997,6(1):11-16.
- [3] 王 茂. 长期重金属污染对人群健康效应的研究[D]. 广州:中山大学,2010.
- [4] 瞿建国. 锌对金鱼的急性毒性及在体内的积累和分布[J]. 上海环境科学,1996,15(6):42-43.

王宏博,郭 宪,褚 敏,等. 应用康奈尔净碳水化合物/蛋白质体系评价甜高粱、玉米秸秆的营养价值[J]. 江苏农业科学,2017,45(6):165-168.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.06.043

应用康奈尔净碳水化合物/蛋白质体系评价甜高粱、玉米秸秆的营养价值

王宏博,郭 宪,褚 敏,梁春年,裴 杰,阎 萍

(中国农业科学院兰州畜牧与兽药研究所/甘肃省牦牛繁育工程重点实验室,甘肃兰州 730050)

摘要:在甜高粱种植区分别采集拔节期、成熟期和青贮的样品 10 个,在玉米种植区分别采集成熟期玉米秸秆和青贮玉米秸秆样品 10 个,应用康奈尔净碳水化合物-蛋白质体系中碳水化合物和含氮化合物的分类方法,测定粗饲料营养成分,计算其碳水化合物和蛋白质组分,并进行分类分析。结果表明,甜高粱、玉米秸秆的可溶性粗蛋白质主要是非蛋白氮,真蛋白质含量相对较少。从结构性碳水化合物的可利用性方面比较,青贮玉米秸秆质量最好,青贮甜高粱秸秆次之,成熟期甜高粱秸秆、拔节期甜高粱秸秆稍差,成熟期玉米秸秆质量最差。从非结构性碳水化合物的含量比较,成熟期甜高粱秸秆质量最好,青贮甜高粱秸秆、成熟期玉米秸秆次之,拔节期甜高粱秸秆稍差,青贮玉米秸秆最差。从真蛋白质含量及其可利用性方面比较,拔节期甜高粱秸秆质量最好,青贮玉米秸秆次之,青贮甜高粱稍差,成熟期甜高粱秸秆和成熟期玉米秸秆质量最差。甜高粱的收割时间以拔节期较为适宜。

关键词:康奈尔净碳水化合物-蛋白质体系;甜高粱;玉米秸;营养价值

中图分类号: S816.15 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)06-0165-04

甜高粱(*Sorghum dochna*)是普通高粱(*S. bicolor*)的一个变种,除具有普通高粱的一般特征外,其茎秆富含糖分,营养价值高,是世界上生物学产量最高的作物之一^[1]。甜高粱具有很强的抗逆力,种植地域很广泛,热带、亚热带、温带均可种植,具有很强的适应性,作为家畜饲料具有明显优势^[2],既可做牧草放牧,又可刈割做青饲、青贮、干草。目前对于甜高粱的营养评价仅限于饲养试验,对其营养价值效果未做深入研究^[2]。20 世纪 90 年代,美国康奈尔大学的动物营养学者提出了康奈尔净碳水化合物-蛋白质体系(Cornell net carbohydrate and protein system, CNCPS),该体系是一个基于瘤胃降解特征的饲料评价体系,通过准确的化学分析方法对饲料组分含量进行分析,利用体外法等方法评价组分的瘤胃降解速

率,结合瘤胃微生物生长的机理模型、消化道流通速度模型、动物消化生理模型等,预测饲料组分的瘤胃降解量、过瘤胃量、瘤胃微生物产量、小肠可利用量等,该过程中还综合考虑了瘤胃氮缺乏以及 pH 值变化对瘤胃消化的影响,对饲料的生物学价值和动物生产性能进行了有效、准确的预测。CNCPS 在北美洲、欧洲、非洲的一些国家已经开始用于指导生产,并且取得了很好的效果。我国对 CNCPS 的应用研究始于 1999 年,经过十几年研究,在 CNCPS 饲料组分数据库、模型验证及改进方面取得了一定的研究进展^[3-8]。但是,应用 CNCPS 对甜高粱营养价值的研究尚未见报道。本研究根据 CNCPS 原理和方法对甜高粱和玉米秸秆的营养成分进行分析,进一步完善我国甜高粱饲料 CNCPS 数据库,旨在为 CNCPS 在我国畜牧养殖业中的推广应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 样品采集与制备

在甘肃省武威市民勤县分别在甜高粱拔节期、收割期采集甜高粱样品、玉米秸秆、玉米青贮各 10 个。

甜高粱、玉米秸秆样品采集方法:在甜高粱、玉米秸秆地

收稿日期:2016-01-06

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(编号:1610322015005);甘肃省科技支撑计划(编号:144NKCA240);甘肃省农业科技创新项目(编号:GNCX-2014-38)。

作者简介:王宏博(1977—),男,甘肃庄浪人,博士,副研究员,研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: hongbo610@163.com。

通信作者:阎 萍,研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: pingyan@sohu.com。

[5] 黄玉瑶,陈锦萍. 铜离子对鳊鲴幼鱼的急性毒性[J]. 中国环境科学,1992,12(4):255-260.

[6] 陈锡涛. 镉对花鲢仔鱼,鱼苗和鱼种的急性毒性及其安全浓度的评价[J]. 环境科学与技术,1991(4):5-8.

[7] 周辉明,吴志强,袁乐洋,等. 三种重金属对鲤鱼幼鱼的毒性和积累[J]. 南昌大学学报:理科版,2005,29(3):292-295.

[8] 刘 伟,吴孝兵,赵 娟. 重金属 Cu²⁺ 对锦鲤和日本沼虾的急性毒性研究[J]. 资源开发与市场,2008,24(10):868-870.

[9] 常藕琴,石存斌,潘厚军,等. 剑尾鱼硫酸铜急性中毒的病理学研

究[J]. 动物医学进展,2005,26(7):82-85.

[10] 王 利,汪开毓. 铜对鲤鱼损伤的超微结构病理学观察[J]. 黑龙江畜牧兽医,2009(5):89-90.

[11] 徐永江. 几种重金属离子对半滑舌鳎生理生态学影响的研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2005.

[12] 徐立红,张雨元,陈宜瑜. 分子生态毒理学研究进展及其在水环境保护中的意义[J]. 水生生物学报,1995,19(2):171-185.

[13] 唐学玺,张培玉. 葱对黑鳃超氧化物歧化酶的影响[J]. 水产学报,2000,24(3):217-220.