



丁酸钠对许氏平鮎生长性能、免疫指标、摄食及生长相关基因的影响

王佩锋^{1,2} 李宝山¹

(1.山东省海洋资源与环境研究院 山东省海洋生态修复重点实验室 山东烟台 264006;
2.上海海洋大学 农业农村部鱼类营养与环境生态研究中心 上海 201306)

研究背景 Background

丁酸属短链脂肪酸，能够为肠上皮细胞提供能量，同时在提高生长性能和营养利用方面均具有积极作用。生产上通常以丁酸钠替代。目前，丁酸钠在水产动物饲料中已得到了较为广泛的研究应用。研究发现，饲料中添加适宜水平的丁酸钠能显著提高营养物质的表观消化率、抗氧化能力、免疫功能进而促进机体生长。然而，也有一些研究发现，丁酸钠对机体生长并无促进作用。

许氏平鮎(*Sebastes schlegelii*)又名黑头，属鮠形目(*Scorpaeniformes*)，因其肉质爽口、抗病力强等优点，深受人们的喜爱。目前，关于丁酸钠在许氏平鮎上的研究未见报道。因此，本研究通过在饲料中添加不同水平的丁酸钠，考察其对许氏平鮎幼鱼生长性能、免疫和抗氧化能力、摄食及生长相关基因表达量的影响，为丁酸钠在水产饲料中的合理应用提供依据。

材料方法

Materials and Methods

- 饲料制备：分别添加0g/kg(D1)、0.05g/kg(D2)、0.2g/kg(D3)、4g/kg(D4)、8g/kg(D5)的丁酸钠至52%粗蛋白，10%粗脂肪的基础饲料中，制成5种等氮等脂的实验饲料。
- 实验管理：养殖实验于室内循环水系统中进行，将体质良好的许氏平鮎幼鱼(33.56±0.08g)随机分配至15个桶中，每桶40尾，每日喂食两次。实验结束后，禁食24小时，取6尾全鱼测定鱼体常规成分。全鱼、背肌、肝脏及血清样品置于-20℃条件下保存，待测。另取3尾鱼用于荧光定量实验，大脑，肠道，肝脏样品至于-80℃保存。
- 指标测定：根据试剂盒说明书测定血清生化指标、肝脏免疫酶活性、肠道消化酶活性。
- RT-qPCR：
 - 总RNA提取 → 逆转录cDNA
 - 配置反应体系 → 定量检测基因
- 肝脏转录组分析：根据许氏平鮎生长性能，选择D1组与D4组，进行肝脏转录组分析。首先对fastq格式

的原始数据进行处理，过滤低质量reads，并定位到许氏平鮎基因组，计算基因的FPKM值。采用校正后的p值(q值<0.05)和FC值(|log₂FC|≥1)来确定差异表达的基因。然后通过主成分分析(PCA)、无监督层次聚类 and 火山图对差异表达的基因进行分析。采用R对GO和KEGG分别进行通路富集分析。

结果 Results

生长性能

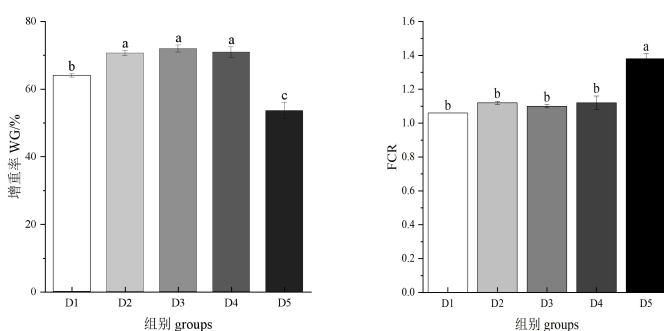


图1 丁酸钠对许氏平鮎幼鱼生长性能的影响
由图1可知，D2-D4组增重率显著高于D1组，D5组增重率显著低于D1组，饲料系数高于D1组。

生化指标

项目 items	D1	D2	D3	D4	D5
血清 Serum					
TP(g/L)	10.18±0.14	10.06±0.02	9.92±0.00	10.02±0.00	10.19±0.01
SOD(U/mL)	80.16±1.31	78.48±3.44	80.59±3.60	84.46±5.61	73.15±6.41
CAT(U/mL)	5.52±0.23 ^b	5.72±0.12 ^b	7.62±0.36 ^a	7.15±0.27 ^a	5.64±0.66 ^b
LZM(μg/mL)	267.88±20.07	258.32±10.39	275.97±13.88	279.41±17.02	266.16±3.07
AKP(金氏单位/100mL)	1.53±0.19 ^a	1.74±0.10 ^c	2.24±0.09 ^{bc}	2.46±0.24 ^a	2.08±0.33 ^{ab}
MDA(nmol/mgprot)	3.23±0.28 ^a	2.79±0.16 ^a	2.22±0.17 ^b	2.12±0.31 ^b	2.93±0.45 ^a
肝脏 Liver					
TP(g/L)	7.33±0.58	7.65±1.12	7.94±0.22	8.21±0.12	7.86±0.26
SOD(U/mg prot)	184.20±8.45 ^b	216.11±12.07 ^a	227.78±9.64 ^a	216.34±18.29 ^a	182.46±17.09 ^b
CAT(mg prot/mL)	51.56±3.47 ^b	77.99±4.01 ^a	82.37±3.56 ^a	78.82±1.71 ^a	72.73±6.48 ^a
MDA(nmol/mg prot)	0.84±0.05 ^a	0.66±0.07 ^b	0.60±0.02 ^b	0.58±0.04 ^b	0.64±0.03 ^b
AST(U/g prot)	43.13±1.17 ^c	48.95±1.25 ^{ab}	52.09±0.61 ^a	51.15±0.74 ^{ab}	43.65±1.67 ^c
ALT(U/g prot)	97.08±1.07 ^c	104.45±1.22 ^b	112.40±1.98 ^a	110.31±1.36 ^a	101.12±2.39 ^b

表1 丁酸钠对许氏平鮎血清生化及肝脏指标的影响

由表1可知，添加丁酸钠显著提高了血清和肝脏抗氧化酶的活性，降低了MDA的含量，但添加高剂量丁酸钠则结果相反。此外，肝脏蛋白质代谢相关酶活性也显著提高。

基因表达量

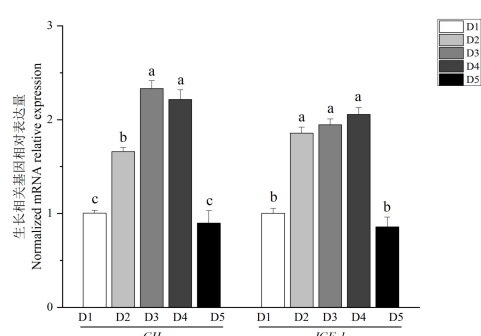


图2 丁酸钠对许氏平鮎生长相关基因表达量的影响
由图2可知，D2-D4组GH和IGF-1的表达量显著高于D1组。

差异表达基因和转录组数据分析

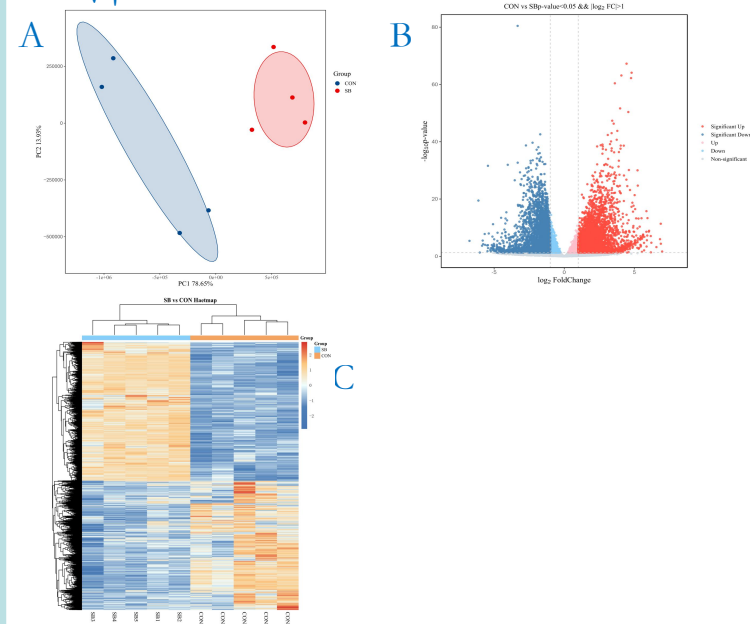


图3 (A)许氏平鮎转录组数据集的PCA。(B)差异表达基因的无监督层次聚类。(C)火山图
PCA和热图结果显示样本重复性较好，组内相似度较高，不同组间存在明显的基因表达差异。火山图显示差异基因的分布，上调差异基因3272个，下调4272个。

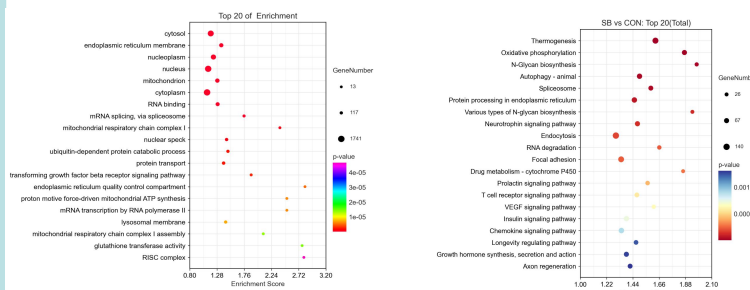


图4 (A)差异基因GO富集TOP20气泡图; (B)差异基因KEGG富集TOP20气泡图

GO富集前20条中，11条富集到细胞成分，7条富集到生物过程，2条富集到分子功能。上调通路包括蛋白质转运，转化生长因子β受体信号通路，SREBP信号通路等；下调的通路为线粒体呼吸链，mRNA剪接等。

KEGG富集结果显示，差异基因主要集中在氧化磷酸化，生长激素的合成与分泌，氨基酸代谢(甘氨酸/丝氨酸/苏氨酸代谢)；脂质代谢(鞘脂和甘油酯代谢)；营养感知相关信号通路(AMPK信号通路、MAPK信号通路、mTOR信号通路)等信号通路上。

结论 Conclusions

根据生长结果，饲料中添加0.05-0.4 g/kg丁酸钠可促进许氏平鮎幼鱼生长，促进生长激素的合成，提高抗氧化和免疫能力。