

科研兴趣培养计划结题报告



狼尾草体细胞突变技术及遗传完整性研究 (项目名称)

项目负责人: _____

学 院: _____

指 导 教 师: _____

学 生 电 话: _____

提 交 日 期: _____

地面平养和网上平养对农华麻鸭肌内脂肪含量和肌肉脂肪酸组成的影响

郭一帆 周丹 王凯旻 刘一思 彭瑞琪

摘要：本实验旨在探究不同养殖模式对肉鸭肌肉脂肪含量和脂肪酸组成的影响。本实验选取 120 只农华麻鸭，分地面平养(FRS)组和网上平养(NRS)组进行饲喂，在 8 周龄、13 周龄分别选取每组 30 只肉鸭，用于测定胸肌和腿肌中肌内脂肪(IMF)、甘油三酯(TG)和各类型脂肪酸的含量。结果显示，IMF 仅在 13w 腿肌中差异显著，表现为 NRS 组显著高于 FRS 组($P<0.05$)，TG 则无显著性变化($P>0.05$)。IMF 主要由 TG 和磷脂构成，而磷脂主要由长链脂肪酸构成。脂肪酸方面，养殖模式显著影响胸肌 Σ MUFA 和腿肌 Σ SFA、 Σ MUFA、 Σ PUFA 的含量($P<0.05$)，而 EFA、EPA、DHA、 Σ n-3、 Σ n-6 等则在不同时期、不同部位中表现为 NRS 组的含量显著高于 FRS 组($P<0.05$)。养殖模式和周龄的交互作用对 EPA 有显著影响，在胸肌、腿肌中均表现为在 8w 时，NRS 组显著高于 FRS 组($P<0.05$)。综上，相比于 FRS，NRS 通过提高各类脂肪酸的含量来使 IMF 发生变化。胸肌中，NRS 提高 MUFA 的含量以影响 SFA、MUFA、PUFA 的比例，而在腿肌中，NRS 则对三者均有影响。同时，NRS 提高了肌肉中 EFA 和其他 n-3、n-6 的含量，这对提升鸭肉品质具有积极作用。

关键词：养殖模式；肌内脂肪；脂肪酸

前言

随着肉鸭产业的快速发展，我国肉鸭养殖已逐步从传统的水域放养模式向陆地旱养的集约化模式转型^[1,2]。水禽旱养不仅能够避免由水禽排泄物导致的水体污染，还能够减少水禽肠道疾病的发生^[2]。水禽旱养所带来的影响是多方面的，而对于主要旱养模式的研究则表明地面平养(FRS)和网上平养(NRS)对于水禽的影响存在诸多差异^[2-6]。肌内脂肪(IMF)和肌肉脂肪酸与鸭肉的风味、嫩度和多汁性等肉质指标高度相关，是影响肉质的关键因素^[5,7]。同时，脂肪酸的组成比例和特殊脂肪酸的含量还对人体健康具有积极作用^[8-10]。前人的研究已经证明相比于传统散养，集约化养殖会对禽类的肉质具有显著影响^[11]，而不同的养殖模式(FRS 和 NRS)也会对水禽的肉质产生一定的影响^[4,5]。有研究报道，NRS 能够显著影响巢湖鸭胸肌的 IMF 含量^[4]，而扬州鹅的研究却表明 FRS 组和 NRS 组在胸肌 IMF 上并无显著差异^[5]。有学者指出集约化饲养和散养条件下，禽类肌肉脂肪酸的组成成分会发生变化^[12,13]，但目前，有关 FRS 与 NRS 对肉鸭肌肉脂肪含量和脂肪酸组成的影响报道较少。因此，探究不同养殖模式对鸭肉脂肪含量和脂肪酸组成的影响有助于为生产中旱养模式的选择提供参考。

1 材料方法

1.1 研究材料

于四川农业大学水禽育种试验基地挑选同批孵化、体重相近、健康的 1 日龄农华麻鸭公鸭进行地面合群饲喂至 2 周龄。在 3 周龄初，挑选体重相近、健康的公鸭 120 只，随机均分至 NRS 和 FRS 中进行饲喂（5 只/m²）。在 8 周龄和 13 周龄时，分别取 NRS 和 FRS 公鸭各 30 只禁饲 12h 后，屠宰、分割得到胸肌和腿肌样品并置于-80℃冷冻保存。

1.2 研究方法

1.2.1 索式抽提测定 IMF

用干燥至恒重的称量皿称取样品 5g，加入适量海砂，置于水浴上蒸发水分，此过程中用玻璃棒不断搅拌，使其成松散状，将试样转入滤纸筒，用沾有石油醚的脱脂棉擦拭称量皿和玻璃棒，一并置于滤纸筒。滤纸筒上方置少量脱脂棉，置于电热鼓风干燥箱中干燥，在 103℃烘干 2 h。将干燥后的滤纸筒置于索氏提取器中，连接底瓶，加入石油醚至虹吸管高度以上，待提取液流净后，再加入虹吸管高度 1/3 的石油醚，并连接冷凝管回流约 12h。此过程在冷凝管口塞入少量脱脂棉。提取完毕后，回收提取液，置于水浴锅上蒸干石油醚，再置于电热鼓风干燥箱中干燥至恒重，在干燥器中冷却，称量。

1.2.2 试剂盒测定 TG

按照使用说明书，用鸭甘油三酯(TG)酶联免疫分析试剂盒(青岛科创质量检测有限公司)测定各样品 TG 含量。

1.2.3 GC-MS 测定脂肪酸含量

1.2.3.1 样品前处理

取 80-100mg 样品加入到 15ml 离心管中，继续加入 2ml 5%盐酸甲醇溶液，3ml 氯仿甲醇溶液(体积比 1:1)，100μl 十九烷酸甲酯内标。于 85℃水浴锅中水浴 1h 后，待温度降到室温，在 EP 管中加入 1ml 正己烷，震荡萃取 2min 后。静置 1h，分层后取上层清液 100μl，用正己烷定容至 1ml。用 0.45μm 滤膜过膜后上机测试。

1.2.3.2 色谱与质谱条件

色谱柱：TG-5MS(30m×0.25mm×0.25μm)；升温程序：80℃保持 1min，以 10℃/min 的速率升温至 200℃，继续以 5℃/min 的速率升温至 250℃，最后以

2℃/min 的速率升到 270℃，保持 3 min；进样口温度：290 ℃；载气流速：1.2 ml/min，开阀时间 1min。离子源：EI 源 70 eV，280℃；传输线温度：280℃；溶剂延迟时间：5.00 min；扫描范围：30~400 amu。

1.3 数据分析

实验数据采用 SPSS 22.0 软件进行独立样本 t-test。

2 结果

2.1 IMF 和 TG 的测定结果

IMF 和 TG 的结果如图 1 所示。养殖模式能够显著影响腿肌和胸肌中 IMF 的含量($P<0.05$)，13w 时，FRS 组的胸肌 IMF 含量显著高于 8 周龄各组 ($P<0.05$)，而在腿肌中，13w 时，NRS 组显著高于其余各组($P<0.05$)。TG 含量则无显著影响($P>0.05$)。

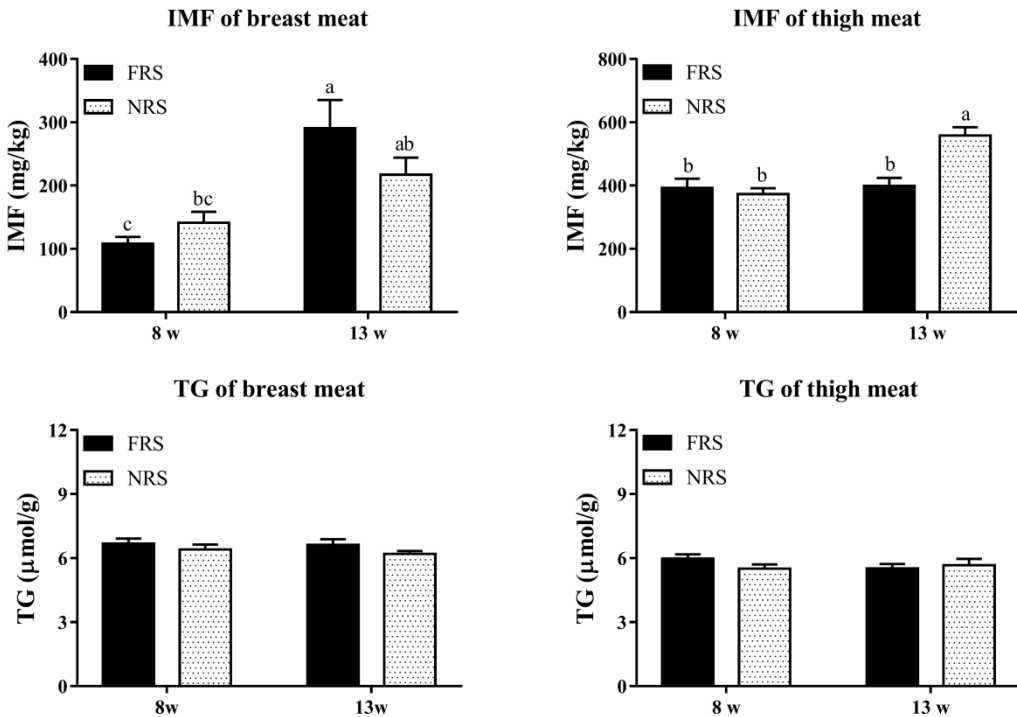


图 1. IMF 和 TG 的结果如图所示。abc 表示 4 组农华麻鸭之间的含量差异($P < 0.05$)子。缩写：IMF，肌内脂肪；TG，甘油三酸酯。

2.2 脂肪酸的测定结果

胸肌脂肪酸的结果显示在表 1 中，而腿肌脂肪酸的结果显示在表 2 中。数据显示，胸肌中，养殖模式显著影响 C16:1、C18:1(n-9)c、C18:1(n-9)t、

Σ MUFA、C22:6(n-3) (DHA)、 Σ n-3、 Σ MUFA/ Σ SFA ($P<0.05$), 而养殖模式和周龄的交互作用则对 C22:0 与 C20:5(n-3) (EPA)有显著影响 ($P<0.05$)。具体而言, 在 8w, NRS 组的 C22:0、C16:1、C18:1(n-9)t、 Σ MUFA、EPA、 Σ MUFA/ Σ SFA 显著高于 FRS 组 ($P<0.05$), 而 Σ n-6/ Σ n-3 显著低于 FRS 组 ($P<0.05$)。在 13w, NRS 组的 C20:4(n-6) (ARA)、DHA、 Σ n-3、 Σ MUFA/ Σ SFA 显著高于 FRS 组 ($P<0.05$)。腿肌中, 养殖模式显著影响 C14:0、C16:0、C17:0、 Σ SFA、C16:1、C17:1、C18:1(n-9)t、C20:1、 Σ MUFA、C18:2(n-6)c (LA)、C18:3(n-6) (GLA)、C20:3(n-6) (DGLA)、 Σ n-6、 Σ PUFA、 Σ MUFA/ Σ SFA ($P<0.05$), 而养殖模式和周龄的交互作用则对 C14:1 与 EPA 有显著影响 ($P<0.05$)。具体而言, 在 8w, NRS 组的 C14:0、C15:0、C16:0、C21:0、C22:0、 Σ SFA、C14:1、C16:1、C20:1、 Σ MUFA、LA、C18:3(n-3) (ALA)、EPA、 Σ n-3、 Σ PUFA、 Σ MUFA/ Σ SFA 显著高于 FRS 组 ($P<0.05$), 而 C17:1、C18:1(n-9)c 显著低于 FRS 组 ($P<0.05$)。在 13w, NRS 组的 C18:1(n-9)c、 Σ MUFA、 Σ MUFA/ Σ SFA 显著高于 FRS 组 ($P<0.05$)。

表 1. FRS 和 NRS 对农华麻鸭胸肌脂肪酸组成的影响

Items ¹	8w		13w		P-Value		
	FRS	NRS	FRS	NRS	RS	Age	RSxAge
C12:0	-	-	-	-	-	-	-
C13:0	0.165±0.026	0.115±0.026	0.181±0.024	0.224±0.028	0.901	0.024	0.087
C14:0	0.670±0.069	0.839±0.075	1.066±0.144	1.238±0.121	0.111	0.000	0.992
C15:0	0.100±0.007	0.110±0.010	0.146±0.017	0.146±0.013	0.675	0.001	0.692
C16:0	32.990±2.064	39.615±2.994	46.758±5.080	52.392±3.997	0.099	0.001	0.893
C17:0	0.259±0.015	0.265±0.015	0.346±0.038	0.394±0.029	0.293	0.000	0.427
C18:0	18.882±0.681	20.443±0.970	21.001±1.619	22.885±1.345	0.154	0.061	0.893
C20:0	0.270±0.015	0.289±0.016	0.256±0.024	0.268±0.020	0.421	0.363	0.839
C21:0	-	-	-	0.050±0.007	0.154	0.457	0.154
C22:0	0.284±0.048b	0.542±0.072a**	0.37±0.049b	0.279±0.039b	0.124	0.105	0.002
C24:0	-	-	0.282±0.031	0.239±0.039	0.404	0.315	-
Σ SFA	53.633±2.733	62.241±4.036	70.375±6.951	78.017±5.486	0.109	0.002	0.923
C14:1	0.078±0.012	0.078±0.009	0.098±0.014	0.117±0.016	0.520	0.052	0.505
C16:1	2.409±0.266	3.903±0.460**	4.980±0.555	5.591±0.517	0.026	0.000	0.341
C17:1	0.735±0.058	0.809±0.033	0.978±0.054	1.089±0.084	0.131	0.000	0.761
C18:1(n-9)c	0.500±0.042	0.667±0.055	0.620±0.063	0.722±0.060	0.018	0.120	0.557
C18:1(n-9)t	43.217±3.896	58.517±6.407*	64.657±7.981	81.327±7.215	0.017	0.001	0.917
C20:1	0.501±0.046	0.587±0.047	0.543±0.073	0.636±0.070	0.142	0.452	0.948
C22:1(n-9)	0.123±0.008	0.133±0.009	0.116±0.016	0.120±0.010	0.532	0.355	0.812
Σ MUFA	47.517±4.249	64.685±6.980*	71.991±8.704	89.601±7.881	0.018	0.001	0.975
C18:2(n-6)t	-	-	0.083±0.007	0.093±0.011	0.565	0.063	-
C18:2(n-6)c	33.501±2.180	37.131±2.842	50.402±5.993	56.830±4.054	0.209	0.000	0.725

C18:3(n-6)	0.201±0.029	0.215±0.026	0.246±0.033	0.301±0.027	0.230	0.027	0.471
C20:2(n-6)	0.924±0.048	0.891±0.030	0.677±0.054	0.699±0.065	0.918	0.000	0.592
C20:3(n-6)	1.478±0.100	1.509±0.089	1.084±0.072	1.083±0.083	0.862	0.000	0.860
C20:4(n-6)	39.859±1.999	39.107±3.779	41.216±3.863	52.283±2.618*	0.106	0.024	0.065
Σn-6	75.981±3.342	78.853±5.871	93.666±8.645	111.235±6.041	0.103	0.000	0.239
C18:3(n-3)	1.101±0.107	1.345±0.128	1.802±0.267	2.055±0.152	0.152	0.000	0.979
C20:3n3	0.126±0.015	0.107±0.013	0.108±0.014	0.125±0.012	0.948	0.991	0.178
C20:5(n-3)	0.290±0.025	0.388±0.032*	-	0.053±0.012	0.059	0.044	0.001
C22:6(n-3)	2.273±0.163	2.509±0.247	2.502±0.136	3.300±0.258*	0.017	0.018	0.186
Σn-3	3.781±0.219	4.348±0.319	4.431±0.342	5.493±0.304*	0.008	0.004	0.411
ΣPUFA	79.763±3.512	83.201±6.157	98.097±8.962	116.727±6.206	0.091	0.000	0.241
ΣMUFA/ΣSFA	0.866±0.035	1.010±0.042*	1.002±0.026	1.134±0.035*	0.000	0.001	0.874
ΣPUFA/ΣSFA	1.513±0.061	1.353±0.086	1.443±0.084	1.535±0.057	0.646	0.448	0.090
Σn-6/Σn-3	20.433±0.688	18.289±0.580*	21.028±0.888	20.623±0.972	0.115	0.071	0.278

注：表中所示的脂肪酸选自我们测定的 35 种脂肪酸中检测率高于 30% 的类型；检测率低于 30% 的脂肪酸或未显示或显示为“-”。^{abc}表示 4 组农华麻鸭之间存在显著性差异($P < 0.05$)，这种多重比较仅在养殖模式与年龄交互作用显著时执行。*和**表示在 8 周或 13 周时，NRS 和 FRS 之间差异显著。差异显著的数据均以粗体显示。缩写：SFA，饱和脂肪酸；MUFA，单不饱和脂肪酸；PUFA，多不饱和脂肪酸。

表 2. FRS 和 NRS 对农华麻鸭腿肌脂肪酸组成的影响

Items ¹	8w		13w		P-Value		
	FRS	NRS	FRS	NRS	RS	Age	RSxAge
C12:0	0.167±0.019	0.222±0.021	0.328±0.039	0.294±0.017	0.687	0.000	0.090
C13:0	-	-	-	-	-	-	-
C14:0	1.742±0.162	2.565±0.236**	2.888±0.433	3.432±0.186	0.016	0.001	0.615
C15:0	0.18±0.017	0.245±0.022*	0.325±0.04	0.357±0.019	0.070	0.000	0.524
C16:0	68.522±6.193	100.037±9.851*	112.151±12.861	131.487±7.607	0.010	0.000	0.523
C17:0	0.463±0.036	0.597±0.056	0.731±0.082	0.895±0.05	0.014	0.000	0.799
C18:0	27.475±2.008	21.903±2.73	18.743±2.423	17.541±2.556	0.171	0.010	0.375
C20:0	0.463±0.033	0.581±0.053	0.706±0.079	0.749±0.051	0.159	0.001	0.504
C21:0	0.069±0.006	0.102±0.011*	0.109±0.015	0.104±0.008	0.209	0.052	0.085
C22:0	0.893±0.08	1.219±0.112*	0.729±0.11	0.82±0.113	0.051	0.009	0.266
C24:0	0.074±0.019	0.111±0.025	0.138±0.028	0.161±0.046	0.332	0.070	0.812
ΣSFA	100.033±6.875	127.569±9.546*	136.834±13.467	155.828±7.199	0.019	0.001	0.659
C14:1	0.181±0.021b	0.305±0.025a*	0.347±0.045a	0.334±0.021a	0.066	0.002	0.025
C16:1	8.001±0.866	14.125±1.508*	15.111±1.771	16.493±0.922	0.006	0.001	0.079
C17:1	0.729±0.041	0.554±0.033*	0.561±0.052	0.515±0.033	0.009	0.014	0.117
C18:1(n-9)c	0.976±0.08	0.807±0.151*	1.018±0.123	1.064±0.223*	0.656	0.281	0.438
C18:1(n-9)t	138.323±14.658	213.313±23.501	217.065±24.66	301.926±20.378	0.000	0.000	0.816
C20:1	1.485±0.141	2.026±0.205*	2.442±0.277	2.891±0.185	0.021	0.000	0.826
C22:1(n-9)	0.224±0.018	0.279±0.029	0.375±0.04	0.375±0.027	0.357	0.000	0.357
ΣMUFA	149.919±15.699	231.247±25.143*	236.783±26.605	323.031±21.332*	0.000	0.000	0.914
C18:2(n-6)t	0.082±0.003	0.088±0.008	0.085±0.008	0.091±0.004	0.408	0.668	0.922
C18:2(n-6)c	86.124±7.299	113.434±10.106*	141.69±16.164	166.306±9.849	0.026	0.000	0.906

C18:3(n-6)	0.531±0.057	0.699±0.083	0.728±0.097	0.917±0.053	0.020 0.007	0.887
C20:2(n-6)	1.039±0.052	1.02±0.068	1.27±0.116	1.377±0.088	0.606 0.001	0.458
C20:3(n-6)	1.405±0.083	1.587±0.116	1.427±0.086	1.815*±0.119	0.007 0.229	0.320
C20:4(n-6)	43.979±1.207	41.283±1.507	42.693±0.933	43.136±1.591	0.402 0.833	0.245
Σn-6	133.111±6.956	158.095±11.236	187.871±16.348	213.635±11.073	0.037 0.000	0.974
C18:3(n-3)	3.401±0.325	4.834±0.456*	4.864±0.868	5.644±0.478	0.057 0.051	0.568
C20:3n3	0.074±0.009	0.092±0.013	0.081±0.008	0.084±0.006	0.359 0.984	0.503
C20:5(n-3)	0.183±0.015b	0.265±0.028a*	0.237±0.014ab	0.219±0.019ab	0.112 0.815	0.015
C22:6(n-3)	4.014±0.184	3.955±0.251	3.728±0.241	3.99±0.324	0.692 0.625	0.531
Σn-3	7.666±0.366	9.115±0.562*	8.878±0.866	9.881±0.663	0.061 0.128	0.729
ΣPUFA	140.777±7.284	167.209±11.744*	196.749±17.138	223.517±11.633	0.037 0.000	0.989
ΣMUFA/ΣSFA	1.452±0.066	1.756±0.08*	1.71±0.055	2.057±0.071*	0.000 0.000	0.758
ΣPUFA/ΣSFA	1.437±0.039	1.329±0.04	1.47±0.046	1.435±0.034	0.081 0.091	0.370
Σn-6/Σn-3	17.366±0.435	17.323±0.57	22.433±1.623	22.671±1.57	0.934 0.000	0.906

注：表中所示的脂肪酸选自我们测定的 35 种脂肪酸中检测率高于 30% 的类型；检测率低于 30% 的脂肪酸或未显示或显示为“-”。^{abc}表示 4 组农华麻鸭之间存在显著性差异($P < 0.05$)，这种多重比较仅在养殖模式与年龄交互作用显著时执行。*和**表示在 8 周或 13 周时，NRS 和 FRS 之间差异显著。差异显著的数据均以粗体显示。缩写：SFA，饱和脂肪酸；MUFA，单不饱和脂肪酸；PUFA，多不饱和脂肪酸。

3 讨论

IMF 和 TG 结果显示，胸肌中 IMF 含量在 FRS 组和 NRS 组中均随日龄的增加而上升，但两种养殖模式间差异并不显著，与巢湖鸭上的实验结果有所不同^[4]，这可能是肉鸭品种和屠宰日龄的不同所导致的^[14]。IMF 仅在第 13 周腿肌中差异显著，表现为 NRS 组显著高于 FRS 组，这可能是由于 NRS 使肉鸭运动量减少，更利于脂肪沉积所导致的^[4,5]。IMF 主要由 TG 和磷脂构成，其中 TG 无显著性变化，故推测养殖模式可能是通过提高肌肉中磷脂的含量来影响 IMF 的含量。磷脂的组成成分主要是长链脂肪酸，故本实验提示养殖模式对 IMF 的影响，实质是对脂肪酸的影响。脂肪酸方面，胸肌和腿肌的脂肪酸组成上有所不同，与在樱桃谷鸭等品种上的研究一致^[15]。例如，在本实验中，胸肌中完全不能检出 C12:0，但能够检出 C13:0；而腿肌中却刚好相反。胸肌中，养殖模式主要影响 MUFA 的组成，从而对 MUFA/SFA 等指标产生显著影响，而腿肌中，养殖模式则对 SFA、MUFA 和 PUFA 的含量均存在显著影响，说明养殖模式对腿肌脂肪酸的影响更为广泛。胸肌和腿肌中 MUFA 和 SFA 的总重与 MUFA/SFA 比值的变化提示 NRS 可能对鸭肉品质的提高具有一定的促进作用

[16]。值得注意的是，NRS 对提高 EPA、ARA、DHA、LA、ALA、GLA 和 DGLA 的含量具有积极作用。其中，LA、ALA 和 ARA 属于必须脂肪酸(EFA)^[17]，与 DGLA 共同参与长链 n-6 脂肪酸(DPA)和长链 n-3 脂肪酸(EPA、DHA)的合成^[8,18]，说明上述变化这可能与肌肉中脂肪酸去饱和化和碳链延伸有关。而上述脂肪酸在维持机体健康、生长发育、抗衰老等方面也发挥着重要作用^[9]。其中，n-3 对人体的益生作用一直是研究的热点，研究证实 EPA、DHA 能够促进胎儿发育、增强孕妇及胎儿的免疫力、预防心血管疾病等^[9]。养殖模式和周龄的交互作用对 EPA 有显著影响，推测这可能是不同周龄、不同养殖模式下，农华麻鸭对特定脂肪酸的功能需求有所不同，其具体作用机制有待进一步研究。

4 结论

养殖模式能够对肉鸭的肌内脂肪和肌肉脂肪酸产生显著影响。NRS 可能是通过提高肌肉脂肪酸的含量，从而影响磷脂的含量，使 IMF 产生变化。相比于 FRS，NRS 主要通过提高胸肌中 MUFA 的含量来影响 SFA、MUFA、PUFA 的比例，而在腿肌中，NRS 则对三者均有影响。NRS 提高了肌肉中 EFA 和其他 n-3、n-6 的含量，这对提升鸭肉品质具有积极作用。

5 参考文献

- [1] Qian Y, Song K, Hu T, et al. Environmental status of livestock and poultry sectors in China under current transformation stage[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 622-623: 702.
- [2] Zhao Y, Li X, Sun S, et al. Protective role of dryland rearing on netting floors against mortality through gut microbiota-associated immune performance in Shaoxing ducks[J]. *Poultry science*, 2019, 0: 1-9.
- [3] Kolluri G, Ramamurthy N, Churchil R R, et al. Influence of age, sex and rearing systems on Toll-like receptor 7 (TLR7) expression pattern in gut, lung and lymphoid tissues of indigenous ducks[J]. *Br Poult Sci*, 2014, 55(1): 59-67.
- [4] Zhang C, Ah Kan Razafindrabe R H, Chen K, et al. Effects of different rearing systems on growth performance, carcass traits, meat quality and serum biochemical parameters of Chaohu ducks[J]. *Anim Sci J*, 2018, 89(4): 672-678.
- [5] Liu B Y, Wang Z Y, Yang H M, et al. Influence of rearing system on growth performance, carcass traits, and meat quality of Yangzhou geese[J]. *Poult Sci*, 2011, 90(3): 653-9.
- [6] De Almeida E A, Arantes De Souza L F, Sant'anna A C, et al. Poultry rearing on perforated plastic floors and the effect on air quality, growth performance, and carcass injuries—Experiment 1: Thermal comfort[J]. *Poultry Science*, 2017, 96(9): 3155-3162.
- [7] Wood J, Richardson R, Nute G, et al. Effects of fatty acids on meat quality: a review[J]. *Meat Science*, 2004, 66(1): 21-32.
- [8] Lauritzen L, Hansen H S, Jørgensen M H, et al. The essentiality of long chain n -3 fatty acids in relation to development and function of the brain and retina[J]. *Progress in Lipid Research*, 2001, 40(1): 1-94.

- [9] Swanson D, Block R, Mousa S a J a I N. Omega-3 fatty acids EPA and DHA: health benefits throughout life[J]. *Advances in Nutrition: An International Review Journal*, 2012, 3(1): 1.
- [10] Simopoulos A. An increase in the omega-6/omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity[J]. *Nutrients*, 2016, 8(3): 128.
- [11] Bogosavljević-Bošković S, Rakonjac S, Dosković V, et al. Broiler rearing systems: a review of major fattening results and meat quality traits[J]. *World's Poultry Science Journal*, 2012, 68(2): 217-228.
- [12] Castellini C, Mugnai C, Dal Bosco A. Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality[J]. *Meat Science*, 2002, 60(3): 219-225.
- [13] Husak R L, Sebranek J G, Bregendahl K. A survey of commercially available broilers marketed as organic, free-range, and conventional broilers for cooked meat yields, meat composition, and relative value[J]. *Poult Sci*, 2008, 87(11): 2367-2376.
- [14] He J, Zheng H, Pan D, et al. Effects of aging on fat deposition and meat quality in Sheldrake duck[J]. *Poultry Science*, 2018, 97(6).
- [15] Qiao Y, Huang J, Chen Y, et al. Meat quality, fatty acid composition and sensory evaluation of Cherry Valley, Spent Layer and Crossbred ducks[J]. *Animal Science Journal*, 2017, 88(1): 156-165.
- [16] Close W H. Nutritional manipulation of meat quality in pigs and poultry[C]. *Biotechnology in the Feed Industry. Proceedings of Alltech's 13th Annual Symposium. Nottingham University Press, Nottingham, 1997 : 181-192.*
- [17] Dal Bosco A, Mugnai C, Mattioli S, et al. Transfer of bioactive compounds from pasture to meat in organic free-range chickens[J]. *Poultry Science*, 2016, 95(10): 2464-2471.
- [18] Ganesh V, Hettiarachchy N S. A Review: Supplementation of Foods with Essential Fatty Acids—Can It Turn a Breeze without Further Ado?[J]. *Critical reviews in food science nutrition*, 2016, 56(9): 1417-1427.