董元洋,韩鹏敏,郑钰崎,等.日粮添加益生菌改善乳鸽肠道健康和生产性能[J].山西农业大学学报(自然科学版),2024,44(2):71-79.
Dong Y Y, Han P M, Zhen Y Q, et al. Adding probiotics to the daily diet improved intestinal health and production performance of squabs[J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2024,44(2):71-79.
doi: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202310024

日粮添加益生菌改善乳鸽肠道健康和生产性能

董元洋[1],韩鹏敏[1],郑钰崎[1],苗志强[1],韩苗苗[1],宋献艺[1],张俊珍[1],麻慧[2*],王政[3],李慧锋[3],李建慧[1*]

(1.山西农业大学 动物科学学院,山西 晋中 030801;2.中国农业科学院 北京畜牧兽医研究所,北京 100193;3.山西农业大学 生命科学学院,山西 晋中 030801)

摘　要:[目的]本文旨在研究在日粮中添加屎肠球菌和枯草芽孢杆菌对乳鸽生长性能的改善效果,及是否通过调节肠道形态、消化酶活性及肠道微生物区系,发挥促生产作用。[方法]试验选取240只12日龄、体重接近的健康白羽王鸽,随机分成4组,分别为对照组、屎肠球菌组、枯草芽孢杆菌组、屎肠球菌与枯草芽孢杆菌混合添加组。于试验第16天(28日龄)测定生产性能并进行屠宰采样,测定十二指肠、空肠、回肠肠道形态,十二指肠内容物消化酶活性和结直肠微生物区系等指标。[结果]与对照组相比,屎肠球菌处理组显著提高12~28 d龄平均日增重。与对照组相比,屎肠球菌处理可显著提高十二指肠胰蛋白酶活性,枯草芽孢杆菌及混合处理添加可显著提高十二指肠中淀粉酶活性($P<0.05$)。益生菌单独或混合添加处理组乳鸽的十二指肠、空肠、回肠绒毛高度显著升高,均显著提高空肠、回肠的绒毛高度与隐窝深度比值($P<0.05$);16S rRNA分析结直肠微生物区系结果表明,单独或混合添加屎肠球菌、枯草芽孢杆菌可提高结直肠奇异菌属(*Atopobium*)、分节丝状菌(*Candidatus Arthromitus*)、芽孢杆菌(*Bacillus*)丰度,以上益生菌具有肠道改善功能。[结论]屎肠球菌和枯草芽孢杆菌可改善乳鸽肠道形态,提高消化酶活性,增加肠道有益菌数量,进而促进乳鸽生长性能,具有良好的生产应用潜力。

关键词:益生菌; 乳鸽; 肠道健康; 生产性能
中图分类号:S81;S83　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-8151(2024)02-0071-09

鸽子繁殖周期通常为34~43 d,其中哺育期28~30 d,且哺乳期第14~21 d内亲鸽在哺育的同时产蛋,从而进入新的繁殖周期[1]。在哺育期15 d即乳鸽15 d龄时,亲鸽生成鸽乳的嗉囊黏膜上皮出现显著退化,进而鸽乳产量急剧下降[1]。对乳鸽而言,在哺育期内10 d龄以后,存在由纯分泌鸽乳向包含大量初步消化饲粮鸽乳的过渡期,且随乳鸽日龄增加,鸽乳逐步被亲鸽采食的谷物替代,由于这一特别的饲养模式,乳鸽存活率极低并极大限制了鸽子产业的发展[2-3]。乳鸽10 d龄后消化系统功能逐渐完善,10 d龄后进行人工哺喂可改善乳鸽成活率、提高亲鸽繁殖性能、降低生产成本[4]。在亲鸽乳中含有丰富的微生物区系,其中优势菌属包括乳杆菌属、肠球菌属,子代乳鸽鸽乳具有相似微生物组成。微生物区系在乳鸽代谢中发挥重要作用,并可从亲代向子代转移,因此在子代人工鸽乳中添加益生菌可能促进乳鸽生长发育和生产性能[2]。

枯草芽孢杆菌具有产生淀粉酶、蛋白酶、纤维素酶等多种可促进消化的酶类活性,在亲鸽饲料

收稿日期:2023-10-18　　**修回日期**:2024-02-14
基金项目:北京市家禽创新团队(BAIC06-2023);山西省留学人员科技活动择优资助项目(20220016);山西省基础研究计划(自由探索类)项目(20210302123370);山西农业大学科技创新基金项目(博士科研启动项目)(2021BQ03);山西省基础研究计划(202203021221172)
作者简介:董元洋(ORCID:0000-0001-6967-3121),讲师,研究方向:动物营养与饲料科学
* **通信作者**:李建慧,教授,研究方向:家禽营养,E-mail:ljh2011@sxau.edu.cn;麻慧,副研究员,研究方向:家禽遗传选育,E-mail:caumah@163.com

中添加枯草芽孢杆菌可提高肠道食糜消化酶活、改善小肠肠道形态、减少后肠潜在致病菌数量并提高有益菌数量,促进机体对营养物质消化代谢[5-6]。屎肠球菌在家禽生产中具有积极影响,具有较强的肠道内存活能力和肠黏膜黏附作用,可增强肠道屏障功能、改善肠道形态、微生物区系和提高蛋白酶活,维持肠道健康[7-8]。日粮单独或联合添加包被屎肠球菌和谷草芽孢杆菌可提高肉鸡采食量并减少料肉比,且联合添加处理具有更低的料肉比[9]。

本课题组前期研究发现,日粮添加屎肠球菌可显著提高乳鸽12~28 d龄平均日增重,增强肝脏抗氧化活性,而日粮添加枯草芽孢杆菌反而降低乳鸽平均日增重,两者共同添加可增加乳鸽胸腺和法氏囊器官指数,增强其免疫功能和抗应激能力[10]。此外,2种益生菌的联合作用效果在乳鸽营养方面研究较少,因此,本研究探讨饲粮中添加屎肠球菌和枯草芽孢杆菌单一或混合对乳鸽肠道的作用,以供复合益生素对乳鸽生产应用参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验用屎肠球菌(3×10^9 CFU·g^{-1})及枯草芽孢杆菌(2×10^{10} CFU·g^{-1})由华雨生物科技有限公司提供。试验种鸽及乳鸽品种为山西某肉鸽养殖企业饲养的白羽王鸽。饲养及屠宰均符合《实验动物护理和使用指南》要求(批准编号IAS2021-98)。试验所用基础饲粮由河北宁达饲料有限公司提供。

1.2 试验设计

试验选取12 d龄健康、体重相近的白羽王鸽乳鸽公母各120只,随机分为4个处理,空白对照组饲喂基础饲粮,屎肠球菌处理组为在基础日粮基础中添加屎肠球菌,枯草芽孢杆菌处理组为基础日粮中添加枯草芽孢杆菌,混合处理组为基础日粮中混合添加屎肠球菌和枯草芽孢杆菌。添加的屎肠球菌活菌数为1.1×10^7 CFU·mL^{-1});枯草芽孢杆菌活菌数为7.4×10^7 CFU·mL^{-1})。每处理6个重复,试验期12~28 d龄。基础饲粮组成及营养水平见表1、表2。

表1 基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)

项目 Items	含量 Content
玉米/%	25.00
豌豆/%	20.00
熟黄豆/%	20.00
颗粒料/%	34.00
活性啤酒酵母/%	1.00
营养水平	
代谢能/(MJ·kg^{-1})	19.03
粗蛋白/%	20.11
赖氨酸/%	1.07
蛋氨酸/%	0.26
钙/%	0.35
总磷/%	0.40

1.3 饲养管理

每天上午8:00和下午15:00对乳鸽进行人工灌喂,准备已装入配置饲粮(水与饲粮的比例为7:3)的软塑料瓶,通过软管将饲粮喂进乳鸽嗉囊,每只乳鸽每次灌喂量约60~70 mL。饲养温度在(30±1)℃,并记录死亡情况。

1.4 样品采集及指标测定

样品采集 乳鸽28 d龄时,在每个重复中随机选取2只体重相近的乳鸽进行屠宰,取十二指肠、空肠和回肠肠段各1 cm,并放入生理盐水中轻轻洗掉内容物后放入4%多聚甲醛中。取十二指肠和结直肠内容物置于冻存管中,放入液氮速冻后于-80 ℃保存待测。

肠道形态测定 肠道组织固定切片染色后,观察形态并测定肠道绒毛高度、隐窝深度。每张切片至少选取3个视野,每个视野选择5根以上绒毛和隐窝进行测量,记录测量结果并计算绒毛高度/隐窝深度比值。

肠道消化酶活性 十二指肠内容物取出解冻,按1:9(W/V)的比例加入生理盐水,置于预冷的研磨罐中,使用研磨仪匀浆,在4 ℃离心机中

表2　颗粒料主要原料及营养水平(风干基础)

Table 2　Composition and nutrient levels of pellet diets (air－dry basis)

项目 Items	含量 Content
玉米/%	59.29
大豆粕/%	30.00
棉粕/%	4.90
豆油/%	1.49
石粉/%	1.32
氯化胆碱/%	0.25
磷酸氢钙/%	1.98
预混料/%	0.77
营养水平	
代谢能/(MJ·kg^{-1})	12.43
粗蛋白/%	21.80
赖氨酸/%	1.00
蛋氨酸/%	0.40
苏氨酸/%	0.65
钙/%	0.80
总磷/%	0.55
氯化钠/%	0.55

3000 r·min^{-1}离心10 min,取上清液用于消化酶活性测定。淀粉酶、脂肪酶、胰蛋白酶活性按照南京建成生物工程研究所提供的试剂盒说明书,采用紫外分光光度法测定。

肠道微生物区系 将收集的结直肠内容物送往上海派森诺生物科技有限公司进行DNA提取和16S rDNA序列扩增子测序分析,分析结直肠菌群结构差异。采用Dneasy PowerSoil Kit(QIAGEN公司)提取微生物总DNA,在260/280 nm处进行测定DNA吸光度值,并对16S rRNA基因V3-V4(a)可变区扩增。采用2%琼脂糖凝胶回收并纯化PCR产物,按照Illumina TruSeq DNA文库流程构建上机文库。利用Illumina公司的NovaSeq PE250平台进行测序,测序及结果分析通过派森诺生物科技有限公司平台(上海)完成。测序原始数据已上传至NCBI,序列号为PRJNA1061372。

1.5　统计分析

数据采用SPSS 26.0软件的单因素方差分析,当方差分析显著时,采用Tukey法进行多重比较。所有检验结果均以"平均值±标准差"表示,以$P<0.05$表示差异显著。

2　结果与分析

2.1　屎肠球菌和枯草芽孢杆菌提高乳鸽12～28 d龄平均日增重

与空白对照相比,屎肠球菌处理可显著提高12～28 d龄乳鸽平均日增重($P<0.05$),而屎肠球菌与枯草芽孢杆菌混合添加组对平均日增重和死亡率均无显著影响(表3)。

表3　屎肠球菌和枯草芽孢杆菌对12～28 d龄乳鸽生长性能的影响

Table 3　Effect of *E. faecium* and *B. subtilis* on the performance of 12 to 28 day－old squabs

组别 Groups	12～28 d龄平均日增重/g Average daily body weight gain from day 12 to day 28	死亡率/% Mortality rate
空白对照组	7.51±0.62b	27.9±2.97
屎肠球菌组	8.23±0.39a	25.0±5.68
枯草芽孢杆菌组	5.85±0.50c	30.0±12.18
混合组	6.81±0.51b	25.8±8.53
P值	<0.01	0.74

注:同列不同小写字母表示差异极显著($P<0.05$)

Note:Values followed by different small letters in the same column indicated significant difference at the level of 0.05

2.2　屎肠球菌和枯草芽孢杆菌可增强乳鸽部分十二指肠消化酶活性

与空白对照相比,日粮添加屎肠球菌、枯草芽孢杆菌与混合添加处理有增加乳鸽十二指肠脂肪酶活性的趋势($P=0.09$)(表4)。仅屎肠球菌处理较空白对照显著提高十二指肠胰蛋白酶活性($P<0.05$)。与空白对照相比,枯草芽孢杆菌处理与混合添加处理均可显著提高十二指肠淀粉酶活性($P<0.05$)。

2.3　屎肠球菌和枯草芽孢杆菌改善28 d龄乳鸽肠道形态

与空白对照处理相比,3个处理均显著提高

表4 屎肠球菌和枯草芽孢杆菌对乳鸽十二指肠消化酶活性的影响

Table 4 Effects of *E. faecium* and *B. subtilis* on intestinal enzyme activity of squabs

组别 Groups	脂肪酶/(U·g^{-1}) LPS	胰蛋白酶/(ng·mg^{-1}) TPS	淀粉酶/(U·g^{-1}) AMS
空白对照组	278.66±52.05	33.86±1.96b	37.01±8.49b
屎肠球菌组	321.76±69.56	37.28±2.16a	51.96±11.88ab
枯草芽孢杆菌组	384.54±60.57	36.23±2.13ab	54.66±8.68a
混合组	312.66±70.10	36.09±1.17ab	55.25±12.42a
*P*值	0.09	0.04	0.02

注:同列不相同小写字母表示差异极显著($P<0.05$)

Note: Values followed by different small letters in the same column indicated significant difference at the level of 0.05

28 d龄乳鸽十二指肠绒毛高度($P<0.01$),但对十二指肠隐窝深度无显著影响,仅屎肠球菌处理、混合组处理可显著提高十二指肠绒毛高度与隐窝深度比值($P<0.01$)(表5)。屎肠球菌处理较空白对照,显著提高空肠绒毛高度,降低隐窝深度,提高绒毛高度与隐窝深度比值,枯草芽孢杆菌处理同样可较空白对照降低空肠隐窝深度和提高绒毛高度与隐窝深度比值($P<0.01$),而混合处理较空白对照显著提高空肠绒毛高度与隐窝深度比值($P<0.01$)。回肠形态方面,与空白对照相比,各个处理均显著提高回肠绒毛高度、绒毛高度与隐窝深度比值($P<0.01$)。

2.4 屎肠球菌和枯草芽孢杆菌可增强乳鸽肠道益生菌微生物丰度

与空白对照相比,屎肠球菌处理、枯草芽孢杆菌处理与混合处理对乳鸽结直肠肠道微生物区系Chao1指数、Shannon指数、Simpson指数无显著影响($P>0.05$)(表6)。

通过高通量测序,20份乳鸽肠道内容物样品共产生1 563 843条原始reads,去除低质量序列后共获得1 239 883个有效序列。基于99%的序列相似度,V3-V4区序列注释成2903个ASVs。其中4个处理共ASVs 445个,空白对照特有ASVs 245个,屎肠球菌处理特有ASVs 344个,枯草芽孢杆菌处理特有ASVs 175个,混合组处理特有ASVs 359个,结果见图1A。在门水平上,日粮中单独或混合添加屎肠球菌、枯草芽孢杆菌较空白对照,均可提高结直肠梭杆菌门(Fusobacteria)丰度,并降低绿弯菌门(Chloroflexi)丰度。单一添加屎肠球菌处理较空白对照可减少结直肠蓝藻菌门(Cyanobacteria)、原ε-变形菌纲(Epsilonbacteraeota)丰度,同样单独添加枯草芽孢杆菌降低蓝藻菌门、髌骨细菌门(Patescibacteria),而混合添加处理仅下调髌骨细菌门(图1B)。在属水平上,与空白对照相比,单独或混合添加屎肠球菌、枯草芽孢杆菌可提高结直肠奇异菌属(*Atopobium*)、分节丝状菌(*Candidatus Arthromitus*)、消化链球菌属(*Peptostreptococcus*)、芽孢杆菌(*Bacillus*)、鞘脂单胞菌属(*Sphingomonas*)丰度,同时下调粪杆菌属(*Faecalibacterium*)。而单独添加屎肠球菌较空白对照,可提高棒状杆菌丰度(*Corynebacterium*)丰度(图1C)。PCoA分析发现,与空白对照相比,单一枯草芽孢杆菌处理或混合添加处理可改变结直肠肠道微生物区系,而单一添加屎肠球菌处理其结直肠微生物区系与空白对照相似(图1D)。

3 讨论

鸽子作为晚成鸟,乳鸽在孵化出壳后需要继续从亲鸽处获取嗉囊分泌的鸽乳以维持生存,且在7 d龄内主要依靠鸽乳获取营养,由于鸽乳在第8~14 d龄逐步被替换为包含大量纤维成分的亲鸽初步消化物,该特殊的饲喂模式导致乳鸽成活率较低,同时乳鸽前28 d龄一直靠鸽乳喂养限制了产雏数的增加,进而使肉鸽产业扩繁生产困难[2]。而微生物区系在乳鸽生长过程中发挥重要作用,亲鸽鸽乳中的微生物如乳酸菌属等可通过鸽乳向乳鸽传递[2]。小肠作为消化、吸收、免疫的

表5　屎肠球菌和枯草芽孢杆菌对28 d龄乳鸽肠道形态的影响

Table 5　Effects of *E. faecium* and *B. subtilis* on intestinal tissue morphology of squabs

组别 Groups	十二指肠 Duodenum			空肠 Jejunum			回肠 Ileum		
	绒毛高度/μm Villus height	隐窝深度/μm Crypt depth	绒毛高度/隐窝深度 Villus height to crypt depth ratio	绒毛高度/μm Villus height	隐窝深度/μm Crypt depth	绒毛高度/隐窝深度 Villus height to crypt depth ratio	绒毛高度/μm Villus height	隐窝深度/μm Crypt depth	绒毛高度/隐窝深度 Villus height to crypt depth ratio
空白对照组	351.74±83.45b	95.92±21.80ab	3.67±0.33b	344.53±125.27b	100.30±28.76a	3.53±1.09b	254.54±26.17b	68.77±10.29	4.05±1.05b
屎肠球菌组	656.72±136.64a	89.65±23.91ab	8.14±3.70a	448.36±151.35a	77.67±8.59b	5.47±1.44a	434.49±52.23a	68.48±16.12	6.30±2.43a
枯草芽孢杆菌组	542.98±145.67a	106.92±26.09a	5.16±1.12b	447.22±101.03ab	73.07±11.95b	6.03±1.06a	429.09±95.01a	73.98±13.38	5.95±1.51a
混合组	649.20±210.79a	82.93±24.90b	8.26±2.88a	439.07±86.72ab	85.68±15.13ab	5.24±1.20a	379.99±69.30a	74.14±21.85	5.46±1.58a
*P*值	<0.01	0.04	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.52	<0.01

注:同列不相同小写字母表示差异极显著($P<0.05$)

Note: Values followed by different small letters in the same column indicated significant difference at the level of 0.05

主要器官,在动物生长发育的过程中发挥重要作用[11]。因此在人工鸽乳或饲粮中通过添加益生菌改善肠道功能,可能促进乳鸽生长发育、提高生产性能。

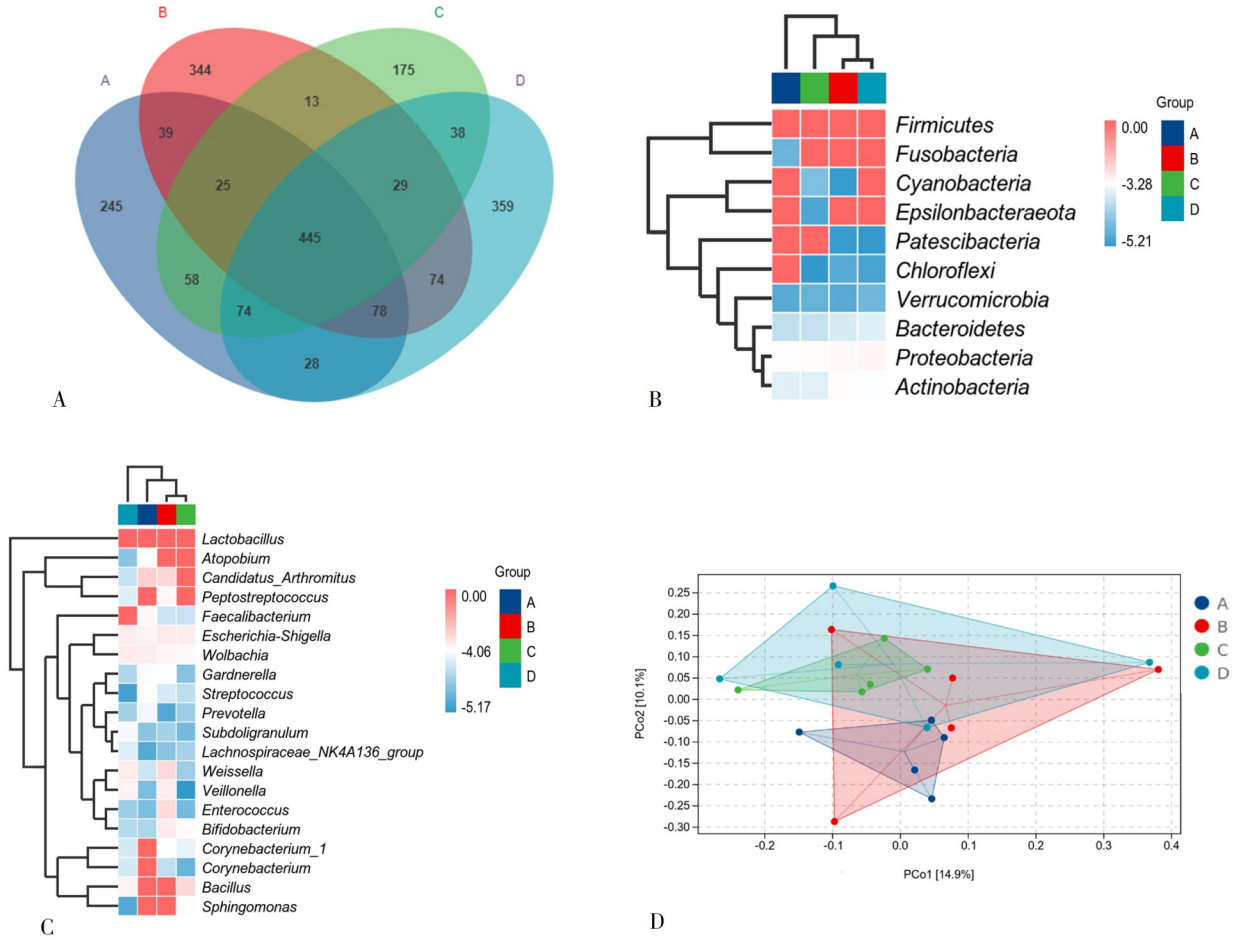
黄金贵等[9]的研究表明屎肠球菌具有良好的肠道黏膜黏附能力,从而形成肠道微生物屏障,同时可产生乳酸、细菌素等杀菌物质,进而保护肠道健康,而枯草芽孢杆菌可产生酶降解单胃动物难以消化的营养物质,提高饲料吸收效率。有研究表明日粮添加屎肠球菌可显著降低肉鸡1~21 d龄与1~42 d龄料肉比,提高肉鸡蛋白质沉积和能量转化效率[12]。本试验中屎肠球菌处理提高体增重具有相同作用。亲鸽日粮补充枯草芽孢杆菌对乳鸽28日龄体重、日增重无显著影响[5]。本试验中发现枯草芽孢杆菌处理组对乳鸽体增重的抑制作用,可能与益生菌经亲鸽或乳鸽补充的方式、鸽乳成分变化、肠道消化吸收能力变化有关,因此有必要进一步围绕肠道消化、吸收功能进行检测。

乳鸽在10 d龄后摄入的鸽乳成分发生显著变化,由脂肪、蛋白质为主逐渐转变为亲鸽所采食的饲料,摄入的碳水化合物比例增加,同时乳鸽消化系统发育,消化吸收机制进一步完善[4]。摄入的营养物质到达胃肠道,在多种消化酶作用下被机体消化,进而对动物的生长性能产生影响[13]。消化酶的分泌受摄入日粮成分影响,如由于0~7 d龄乳鸽完全依靠鸽乳维持,且鸽乳以脂肪、蛋白质为主,因此无法促进消化腺分泌淀粉酶[4]。因此,在乳鸽生长前期初雏阶段(0~10 d龄)脂肪酶、胰蛋白酶可能是限制乳鸽生长的主要因素,而在雏鸽乳鸽阶段(10~30 d龄)由于摄入营养成分变化,淀粉酶、蛋白酶可能是主要的限制因素。孙福方[4]研究发现对比乳鸽3 d龄、8 d龄与14 d龄十二指肠消化酶活变化,脂肪酶随日龄降低,胰蛋白酶随日龄升高,而淀粉酶在各日龄间无显著差异。本试验中28 d龄乳鸽十二指肠脂肪酶在各处理间无显著差异,而屎肠球菌处理显著提高胰蛋白酶活。同样其它研究发现AA肉鸡饲料中添加200 mg·kg^{-1}屎肠球菌可显著提高小肠脂肪酶、胰蛋白酶和糜蛋白酶活性[8]。屎肠球菌添加对肠道蛋白酶活影

表6 屎肠球菌和枯草芽孢杆菌对乳鸽28 d龄肠道微生物Alpha多样性指数的影响

Table 6 Effects of *E. faecium* and *B. subtilis* on Alpha diversity index of intestinal microbes at 28 days of age

组别 Groups	Chao1丰富度指数 Chao1	香农指数 Shannon	辛普森多样性指数 Simpson
空白对照组	506.83	4.14	0.73
屎肠球菌组	452.91	3.87	0.68
枯草芽孢杆菌组	466.92	3.99	0.75
混合组	533.15	4.79	0.80
*P*值	0.67	0.43	0.73



组别A为空白对照处理,组别B为日粮添加屎肠球菌处理,组别C为日粮添加枯草芽孢杆菌处理,组别D为日粮同时屎肠球菌与枯草芽孢杆菌处理

Group A for the control treatment, group B for the treatment of basal diets supplemented with *enterococcus faecium*, group C for the treatment of basal diet supplemented with *bacillus subtilis*, group D for the treatment of basal diet supplemented with *enterococcus faecium* and *bacillus subtilis*

图1 不同处理组对乳鸽28日龄肠道微生物ASVs聚类分析

Fig.1 The ASVs clustering analysis of intestinal microbes at 28 days of age from different treatments

响与本试验结果一致,可能与乳鸽日粮与肉鸡日粮中粗蛋白比例相近均为21.0%左右有关,屎肠球菌在该摄入日粮水平下可促进蛋白酶活。鸽乳中脂肪含量降低可导致胰腺分泌脂肪酶出现适应性降低变化,而肉鸡没有该摄食成分变化,可能是对脂肪酶影响存在差异的原因。日粮补充枯草芽孢杆菌BS048可显著增强雪山鸡41 d龄空肠脂肪酶、胰蛋白酶、淀粉酶等消化酶活性,从而提高小

肠对食糜的消化能力[14]。与本试验中枯草芽孢杆菌对乳鸽肠道淀粉酶活作用一致,对蛋白酶影响差异可能是由于鸡日龄较大或日粮蛋白水平降低所导致。

小肠是营养成分消化后吸收和转运的主要部位,小肠上皮高度折叠形成隐窝和绒毛结构,从而最大化营养吸收面积,肠道黏膜通过隐窝处干细胞的增殖分化迁移,更新绒毛顶端肠上皮细胞,维持肠黏膜屏障的完整性、支持肠道吸收功能[15]。乳鸽的生长速度与其小肠中营养吸收能力紧密相关[16]。肠道形态对肠道上皮区域具有决定性影响,绒毛高度增加可显著扩大用于营养吸收的肠上皮表面积[17]。肠道隐窝可产生待分化的干细胞,参与绒毛上皮细胞的更新,隐窝深度越小,细胞成熟率越高,消化液分泌越多。有研究表明日粮补充枯草芽孢杆菌可显著提高乳鸽各段小肠绒毛高度,减少空肠隐窝深度[6]。与本试验中枯草芽孢杆菌直接添加乳鸽日粮中对各部位肠绒毛高度和隐窝深度影响基本一致,但绒毛高度/隐窝深度比值并未显著提高,这可能与通过种鸽摄入后直接将枯草芽孢杆菌喂给乳鸽或直接饲喂乳鸽或的补充途径不同有关。He等[12]研究发现日粮添加鸡源屎肠球菌PNC01,可提高肉鸡回肠绒毛高度和隐窝深度。本试验中屎肠球菌主要提高小肠各肠段绒毛高度,对十二指肠、回肠隐窝深度无显著影响,反而降低空肠隐窝深度,该结果差异可能与乳鸽补充屎肠球菌时间较短有关。

乳鸽早期肠道发育过程中,乳鸽经历逐渐采食利用富含蛋白质、脂肪的前期鸽乳向碳水化合物逐渐增多的亲鸽初步消化日粮的转变。乳鸽对营养成分的消化吸收和生长性能的提高,完善的肠道发育必不可少。而肠道微生物可显著影响家禽肠道形态与结构,例如与常规饲养鸡相比,无菌或低载量鸡的小肠、盲肠重量降低、肠道变薄、绒毛与隐窝缩短[18]。益生菌可通过竞争排斥、产生抗菌物质或有机酸、调控宿主免疫能力,进而发挥调节肠道微生物稳态功能[19]。有研究表明日粮中添加屎肠球菌能够改变肉鸡肠道微生物群的数量,增加产短链脂肪酸细菌的相对丰度,并且促进肠道磷的吸收和骨形成代谢活动[20]。本试验中各益生菌添加处理对乳鸽肠道微生物多样性没有显著影响,厚壁菌门在对照组和试验组乳鸽肠道菌群中均占优势地位。这可能与益生菌添加方式、乳鸽分阶段饲养模式等有关。Sen等[21]研究表明日粮添加枯草芽孢杆菌可显著降低肉鸡盲肠内大肠杆菌、沙门氏菌数量,并提高十二指肠、回肠绒毛高度及绒毛高度与隐窝深度比值。亲鸽饲粮中添加枯草芽孢杆菌能显著减少乳鸽结直肠食糜大肠杆菌,增加乳酸杆菌数量[6]。本试验中,各益生菌添加处理均提高丰度的结直肠奇异菌属(*Atopobium*)、分节丝状菌(*Candidatus Arthromitus*)、芽孢杆菌(*Bacillus*)具有肠道改善功能。其中奇异菌属属于放线菌门奇异菌科,属于乳酸菌类,具有一定的益生作用,而分节丝状菌的进行性缺失与T1D型糖尿病导致的肠道屏障损伤紧密相关[22-23]。因此,屎肠球菌和枯草芽孢杆菌可能通过调节乳鸽肠道菌群平衡,提高肠道营养物质吸收能力。

4　结论

综上所述,屎肠球菌和枯草芽孢杆菌能改善乳鸽肠道形态,改善肠道微生物区系,且屎肠球菌与枯草芽孢杆菌分别主要通过增强肠道胰蛋白酶、淀粉酶发挥生产促进作用,但其协同作用并不显著,需进一步探究不同阶段或日粮下2种益生菌的互作效应。

参　考　文　献

[1]边世雄,孙研研,麻慧,等. 鸽乳的组成及其生成调控机制的研究进展[J]. 畜牧兽医学报,2020,51(9):2048-2058.
Bian S X, Sun Y Y, Ma H, et al. Research progress on the composition and production regulatory mechanism of pigeon milk[J]. Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2020,51(9):2048-2058.

[2]Ding J M, Liao N, Zheng Y M, et al. The composition and function of pigeon milk microbiota transmitted from parent pigeons to squabs[J]. Frontiers in Microbiology, 2020, 11: 1789.

[3]安勇,计峰,王雪敏,等. 发育期间乳鸽血清代谢物及代谢通路的变化[J]. 动物营养学报,2021,33(11):6203-6212.
An Y, Ji F, Wang X M, et al. Changes of serum metabolites and pathways during development of squabs[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(11): 6203-6212.

[4]孙福方. 0～14日龄乳鸽消化生理特性的研究[D]. 杭州:浙江大学,2006.
Sun F F. Study on digestive physiological characteristics of pigeons aged 0～14 days [D]. Hangzhou: Zhejiang University,2006.

[5]谢鹏,付胜勇,戴鑫,等. 饲料中添加枯草芽孢杆菌制剂对乳鸽消化道酶活性和血清生化指标的影响[J]. 饲料工业,2014,35(24):7-11.
Xie P, Fu S Y, Dai X, et al. Effects of *bacillus subtilis* on intestinal enzymes′ activities and serum biochemical parameters of pigeon squabs[J]. Feed Industry, 2014, 35(24):7-11.

[6]谢鹏,付胜勇,常玲玲,等. 枯草芽孢杆菌对乳鸽生长性能、小肠形态和结直肠菌群的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(6):190-193.
Xie P, Fu S Y, Chang L L, et al. Effects of *Bacillus subtilis* on growth performance, small intestine morphology and colorectal flora of young pigeons[J]. Jiangsu Agricultural Sciences,2015,43(6):190-193.

[7]鄂晓迪,肖蕴祺,李梦梅,等. 屎肠球菌在家禽生产中的应用及安全性研究进展[J]. 中国家禽,2022,44(5):95-103.
E X D, Xiao Y Q, Li M M, et al. Research progress on application and safety of *Enterococcus faecium* in poultry production[J]. China Poultry,2022,44(5):95-103.

[8]刘军,彭众,喻礼怀,等. 屎肠球菌对AA肉鸡肠道酶活和绒毛形态的影响[J]. 中国家禽,2020,42(2):64-68.
Liu J, Peng Z, Yu L H, et al. Effect of *Enterococcus faecium* on intestinal enzyme activity and villous morphology of AA broilers[J]. China Poultry,2020,42(2):64-68.

[9]黄金贵,张勇,李方方,等. 包被屎肠球菌、枯草芽孢杆菌及其复合菌对肉鸡生长性能、屠宰性能及肠道功能的影响[J]. 动物营养学报,2023,35(7):4370-4386.
Huang J G, Zhang Y, Li F F, et al. Effects of encapsulated *Enterococcus faecium*, *Bacillus subtilis* and their complex bacteria on growth performance, slaughter performance and intestinal function of broilers[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition,2023,35(7):4370-4386.

[10]韩鹏敏,张然,边世雄,等. 屎肠球菌和枯草芽孢杆菌对乳鸽生长性能、屠宰性能和免疫功能的影响[J]. 畜牧兽医学报,2022,53(11):3880-3891.
Han P M, Zhang R, Bian S X, et al. Effects of *Enterococcus faeciumand Bacillus* subtilis on growth performance, carcass traits and immune function of squabs[J]. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica,2022,53(11):3880-3891.

[11]Xu Q Q, Wen J S, Wang X M, et al. Maternal dietary linoleic acid altered intestinal barrier function in domestic pigeons (*Columba livia*) [J]. The British Journal of Nutrition,2021,126(7):1003-1016.

[12]He Y, Liu X, Dong Y Y, et al. *Enterococcus faecium PNC01* isolated from the intestinal mucosa of chicken as an alternative for antibiotics to reduce feed conversion rate in broiler chickens[J]. Microbial Cell Factories,2021,20(1):122.

[13]Pubols M H. Ratio of digestive enzymes in the chick pancreas[J]. Poultry Science,1991,70(2):337-342.

[14]朱沛霁. 枯草芽孢杆菌对雪山鸡生产性能、肠道健康和免疫机能的影响及机制[D]. 扬州:扬州大学,2017.
Zhu P J. Effects of dietary supplementation of *Bacillus subtilis* on growth performance, intestinal health and immune functional responses of Xueshan broiler[D]. Yangzhou: Yangzhou University,2017.

[15]Circu M L, Aw T Y. Intestinal redox biology and oxidative stress[J]. Seminars in Cell&Developmental Biology,2012,23(7):729-737.

[16]Xu Q Q, Miao S S, Jian H F, et al. Research Note: morphology and immune function development of the jejunum and ileum in squab pigeons (*Columba livia*)[J]. Poultry Science,2022,101(1):101529.

[17]Röhe I, Boroojeni F G, Zentek J. Effect of feeding soybean meal and differently processed peas on intestinal morphology and functional glucose transport in the small intestine of broilers[J]. Poultry Science,2017,96(11):4075-4084.

[18]胡永飞,冯于明. 家禽肠道微生物组研究进展[J]. 中国家禽,2022,44(11):1-9.
Hu Y F, Guo Y M. Research advances in poultry gut microbiome[J]. China Poultry,2022,44(11):1-9.

[19]高铎,李欣南,韩镌竹,等. 益生菌在家禽生产中的作用机制及应用研究进展[J]. 动物营养学报,2023,35(11):6840-6847.
Gao D, Li X N, Han J Z, et al. Research progress on mechanism and application of probiotics in poultry production [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2023, 35(11):6840-6847.

[20]Wang W W, Cai H Y, Zhang A R, et al. *Enterococcus faecium* modulates the gut microbiota of broilers and enhances phosphorus absorption and utilization [J]. Animals:an Open Access Journal from MDPI,2020,10(7):1232.

[21]Sen S, Ingale S L, Kim Y W, et al. Effect of supplementation of *Bacillus subtilis* LS 1-2 to broiler diets on growth performance, nutrient retention, caecal microbiology and small intestinal morphology[J]. Research in Veterinary Science,2012,93(1):264-268.

[22]王阶平,刘波,刘欣,等. 乳酸菌的系统分类概况[J]. 生物资源,2019,41(6):471-485.
Wang J P, Liu B, Liu X, et al. Taxonomy of lactic acid bacteria[J]. Biotic Resources,2019,41(6):471-485.

[23]Rouland M, Beaudoin L, Rouxel O, et al. Gut mucosa alterations and loss of segmented filamentous bacteria in type 1 diabetes are associated with inflammation rather than hyperglycaemia[J]. Gut,2022,71(2):296-308.

Adding probiotics to the daily diet improved intestinal health and production performance of squabs

Dong Yuanyang[1], Han Pengmin[1], Zhen Yuqi[1], Miao Zhiqiang[1], Han Miaomiao[1], Song Xianyi[1], Zhang Junzhen[1], Ma Hui[2*], Wang Zheng[3], Li Huifeng[3], Li Jianhui[1*]

(*1.College of Animal Science, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, China; 2.Institute of Animal Science of CAAS, Beijing 100193; 3.College of Life Sciences, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, China*)

Abstract: [Objective] The experiment was designed to investigate the effects of adding *Enterococcus faecium* and *Bacillus subtilis* to the daily diet on the growth performance of squabs, and whether it promoted production by regulating intestinal morphology, digestive enzyme activity, and intestinal microbial flora of squabs. [Method] A total of 240 healthy white-feathered royal pigeons with an average age of 12 days and similar body weights were randomly divided into four groups: control group, Enterococcus faecium group, Bacillus subtilis group, and mixed Enterococcus faecium and Bacillus subtilis group. Production performance was determined on the 16th day of the experiment (28 days of age), and slaughter samples were collected to determine the intestinal morphology of the duodenum, jejunum, and ileum, digestive enzyme activity in the duodenal contents, and the composition of the microbial flora in the colon. [Results] Compared with the control group, the Enterococcus faecium treatment group significantly increased the average daily weight gain from 12 to 28 days of age. Bacillus subtilis group and mixed treatment groups significantly increased duodenal amylase activity ($P<0.05$). Enterococcus faecium treatment group significantly increased duodenal trypsin activity. Compared with the control group, the height of the villi in the duodenum, jejunum, and ileum of squabs in the probiotic-treated groups was significantly increased ($P<0.05$). 16S rRNA analysis of the microbial flora in the colon showed that the addition of *enterococcus faecium* and *bacillus subtilis*, alone or in combination, increased the abundance of Atopobium, Candidatus Arthromitus, and Bacillus in the colon, indicating that these probiotics had intestinal improvement function. [Conclusion] *Enterococcus faecium* and *Bacillus subtilis* can improve the intestinal morphology of young pigeons, increase digestive enzyme activity, increase the number of beneficial bacteria in the intestine, and promote the growth performance of squabs, showing good potential for practical application in production.

Keywords: Probiotics, Squab, Intestinal health, Growth performance

(编辑:马荣博)