

DOI: 10.11686/cyxb2017104

http://cyxb.lzu.edu.cn

杜周和, 左艳春, 严旭, 周晓康, 刘彬斌, 吴建梅, 刘俊凤, 寇晶, 陈义安, 张剑飞. 饲料桑生理活性物质及其饲用价值. 草业学报, 2017, 26(10): 227-236.

DU Zhou-He, ZUO Yan-Chun, YAN Xu, ZHOU Xiao-Kang, LIU Bin-Bin, WU Jian-Mei, LIU Jun-Feng, KOU Jing, CHEN Yi-An, ZHANG Jian-Fei. Physiological activation and feed value of mulberry for livestock and poultry. Acta Prataculturae Sinica, 2017, 26(10): 227-236.

饲料桑生理活性物质及其饲用价值

杜周和^{1,2}, 左艳春¹, 严旭¹, 周晓康¹, 刘彬斌², 吴建梅²,
刘俊凤², 寇晶¹, 陈义安², 张剑飞^{2*}

(1. 四川省农业科学院牧业研究中心, 四川 南充 637000; 2. 四川省农业科学院蚕业研究所, 四川 南充 637000)

摘要: 饲料桑蛋白质含量高、氨基酸种类丰富、纤维素含量低, 富含多种生理活性物质, 是一种优良的多年生饲料资源, 对牛、羊、猪、兔、鸡、鱼等多种畜禽都具有很好的适口性。蛋禽日粮中添加桑饲料, 可以显著改善蛋黄颜色, 提高蛋黄磷脂和不饱和脂肪酸含量, 增加蛋清浓稠蛋白含量, 改善蛋的风味和品质。肉类畜禽日粮中添加桑饲料, 可以显著改善肉品色泽, 提高肌肉中肌苷酸和不饱和脂肪酸含量、减少胆固醇含量, 降低肌肉滴水损失、延缓 pH 值下降及脂质氧化变质, 提高肉品质量。牛、猪等大型肉类动物采食桑饲料后可减少皮下脂肪沉积, 增加肌肉间脂肪含量, 有效改善肉的品质风味。综述了饲料桑中主要生理活性物质的种类、含量、结构特征、生理功能及其在畜禽养殖中的饲用价值; 从生产性能和改善品质方面分析总结了饲料桑在多种畜禽养殖中的应用效果; 提出了减轻抗营养因子不利影响、改善栽培利用效果的技术措施; 展望了饲料桑开发应用前景。

关键词: 饲料桑; 活性物质; 家禽; 家畜; 营养价值

Physiological activation and feed value of mulberry for livestock and poultry

DU Zhou-He^{1,2}, ZUO Yan-Chun¹, YAN Xu¹, ZHOU Xiao-Kang¹, LIU Bin-Bin², WU Jian-Mei², LIU Jun-Feng², KOU Jing¹, CHEN Yi-An², ZHANG Jian-Fei^{2*}

1. Animal Husbandary Research Centre of Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Nanchong 637000, China; 2. Sericultural Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Nanchong 637000, China

Abstract: Mulberry is a perennial forage crop with high protein content, rich in amino acids, low cellulose content and physiological activators. Mulberry is palatable to livestock and poultry including cattle, sheep, pigs, rabbits, chickens and fish. Mulberry leaf powder in the diet of laying hens can help increase yellow pigmentation of egg yolks, raise phospholipid and unsaturated fatty acid content in the yolk and increase viscosity of egg whites, improve the quality and taste of egg products. The addition of mulberry leaf in the diet of livestock and poultry can improve meat colour, raise inosinic acid and unsaturated fatty acid content in meat, reduce cholesterol content in meat, retain meat moisture, postpone pH decrease and prevent lipid oxidation. In large-scale meat production systems such as beef cattle, pigs, mulberry leaf supplementation can also reduce subcutaneous fat and increase intramuscular fat. Mulberry is a sort of fine perennial forage crop with higher protein content, rich sorts of amino acids, lower cellulose content and many sorts of physiological activators. In this study we

收稿日期: 2017-03-07; 改回日期: 2017-05-09

基金项目: 四川省财政创新能力提升工程项目(2016TSCY-007), 四川省科技支撑计划项目(2016NZ0113), 国家蚕桑产业技术体系专项(No. CARS-22-ZJ0401)和南充市重点研发项目(15A0046)资助。

作者简介: 杜周和(1968-), 男, 四川南充人, 研究员, 博士。E-mail: zhouhedu@263.net

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: zjianfei2008@163.com

review the content, structure, function, feed value and the physiological benefits of mulberry forage and summarize the effects of mulberry on livestock and poultry production performance and improving the product quality. We also propose measures to negate the potential effects of anti-nutritional factors and improve crop management. Finally, the opportunity to utilize mulberry forage is assessed.

Key words: mulberry forage crop; physiological activator; livestock; poultry; nutritive value

桑(*Morus alba*)是一种多年生、广适性木本植物,在 $-40\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的气温范围和 pH 4.5~9.0 的土壤条件下都能正常生长。桑是传统的家蚕饲料,将其拓展应用到畜禽水产养殖中特称为饲料桑。桑作畜禽饲料具有蛋白质含量高、氨基酸种类丰富、纤维素含量低的显著特点;同时,桑富含多种活性功能成分,对增强动物生理功能、改善畜禽产品的品质和风味等具有重要作用^[1]。活性功能成分即指生理活性物质,是生命有机体中不同于结构物质和能量物质的一类对生物机体有特定活性功能作用的物质,包括功能性碳水化合物、功能性脂类、活性蛋白质、活性肽、自由基清除剂、生物碱、维生素等。桑中的生理活性物质主要包括类胡萝卜素、维生素、谷甾醇、槲皮素、 γ -氨基丁酸、1-脱氧野尻霉素、桑黄酮、桑多糖和超氧化物歧化酶等。饲料桑在畜禽饲料资源中可作为一种天然营养保健剂^[2-3]。

1 类胡萝卜素

1.1 类胡萝卜素种类

类胡萝卜素是一大类天然色素的总称,因最早从胡萝卜根中分离得到而命名。类胡萝卜素是高度不饱和的脂溶性多烯化合物,迄今已发现 600 余种,主要可分为胡萝卜素、叶黄素和类胡萝卜素酸三类。胡萝卜素是一类高度不饱和的烃类化合物,包括 α 、 β 和 γ 三种异构体;叶黄素亦称胡萝卜醇,是胡萝卜素的非酸性氧衍生物,按结构特征可分为单羟基叶黄素、双羟基叶黄素和多氧类叶黄素三类;类胡萝卜素酸是胡萝卜素的羧酸衍生物,常见的有藏花素、胭脂树橙和红酵母红素等。

1.2 饲料桑中的类胡萝卜素及其生理功能

饲料桑中的类胡萝卜素主要是胡萝卜素和叶黄素二类。众多研究一致表明,在蛋鸡饲料中添加桑叶粉能极显著提高蛋黄颜色^[4],而对鸡蛋中胆固醇的含量影响甚微^[5]。蛋黄颜色是由脂溶性色素在卵形成期间沉积到蛋黄中形成的。蛋禽本身不能合成色素,蛋黄颜色的深浅取决于蛋禽从饲料中摄取的种类和数量^[6]。添加桑叶饲料的蛋黄颜色加深就是由于桑中的类胡萝卜素在蛋黄中沉积所致^[7],其中贡献最大的是桑叶所含叶黄素^[8],尤其是其中的双羟基叶黄素和多氧类叶黄素。胡萝卜素在蛋黄中以 α 和 β 两种异构体形式存在。色素以游离态进入血液,随血液循环到达皮肤、脂肪和蛋黄等组织,重新转化成棕油酸二酯而沉积下来,呈现出人们喜欢的颜色^[6]。鸡群的年龄及健康状况影响肠道对类胡萝卜素的吸收利用,不同品种的蛋鸡对色素的沉积能力不同^[9]。养分含量全价均衡的饲料是保证蛋禽肌体正常代谢的基础,其中脂类和维生素对蛋黄着色效果的影响尤为重要。叶黄素是脂溶性的,必须溶解于脂肪中才能被蛋禽吸收。因此,脂类与叶黄素之间能够相互促进吸收。维生素 A 过量会影响色素的吸收与沉积,不足则会促使 β 胡萝卜素转化为维生素 A。因此,日粮中过高或过低的维生素 A 均会影响色素的沉积,从而影响蛋黄色泽^[6]。维生素 E 具有抗氧化作用,能使类胡萝卜素免受氧化剂的氧化,提高鸡腹下脂肪的氧化稳定性,进而加深蛋黄的颜色^[10]。

蛋黄是禽蛋风味物质的主要载体,蛋黄颜色是判定禽蛋质量的重要感官指标之一,常被作为区别草鸡和笼养鸡的重要标志,对蛋品的商品价值影响极大。蛋黄颜色按罗氏比色扇表示方法分为 15 个等级,数值越大颜色越深,出口鲜蛋的蛋黄色泽要求 8 级以上^[7]。

随着现代育种及养殖技术的发展,畜禽生长速度加快,养殖周期缩短,色素沉积减少,产品失去传统色泽,无法满足消费者对畜禽产品着色度的要求,生产过程中添加人工色素是普遍的现象^[11]。化学色素可致畸、致癌,影响健康,来源于饲料植物的天然色素安全无毒,深受青睐^[12]。20 世纪 90 年代以来,国际学术界形成了一种设想,在饲料中使用“营养型”着色剂,使其中具有抗病和保健作用的色素沉积在畜禽产品中,形成一类对人体具有药用

或保健功能的新型食品。类胡萝卜素能防止视网膜黄斑变性,对治疗及预防老年性及多种起因的弱视和防止紫外线对皮肤的损伤特别有效。目前类胡萝卜素作为营养补充剂在西方国家已经形成共识。叶黄素具有较强的抗氧化能力,能够抑制氧自由基活性,阻止其对正常细胞的破坏;作为色素沉积的同时,叶黄素的抗氧化和提高免疫作用也发挥着功效。

2 1-脱氧野尻霉素(1-DNJ)

1-DNJ 是最早从桑树中发现的一种天然生物碱,除桑树外,风信子(*Hyacinthus orientalis*)、野拓草(*Com-melina communis*)和芽孢杆菌(*Bacillus*)等少数几种植物与微生物体内也少量含有,但桑的含量远高于其上。在已检测过的不同桑树品种中,桑叶 1-DNJ 含量为 0.15%~0.33%。1-DNJ 作为强效的糖代谢酶抑制剂,其与 α -糖苷酶的结合能力大于二糖与 α -糖苷酶的结合能力而阻碍了二糖与 α -糖苷酶的结合,结果降低了 α -糖苷酶对二糖的分解,使二糖不能被水解为葡萄糖而直接进入大肠^[13],被大肠内的菌群作用生成 CO_2 、 H_2 等气体以及酪酸、丙酸、乳酸和醋酸等有机酸,使肠内环境酸度增大,抑制有害菌的增殖^[14]。郭建军等^[15]报道,在育肥猪饲料中添加 5%~10%的桑叶,显著降低盲肠中大肠杆菌数量,增加双歧杆菌和乳酸杆菌数量。双歧杆菌和乳酸杆菌是肠道内有益菌群。一方面,肠道内有益菌数量增加可以竞争性抑制有害菌数量,维持肠道微生物区系平衡,提高肠道机能;另一方面,肠道益生菌在消化道内生长繁殖,直接产生多种营养物质,如维生素、氨基酸、短链脂肪酸等,从而提高饲料报酬,料肉比明显降低,养殖效益增加。猪日粮中添加桑叶还提高了肌肉中高密度脂蛋白胆固醇、肌苷酸、维生素 E、亚油酸和总氨基酸含量,18 种总氨基酸含量达到 19.82 g/100 g,提高 11.47%,赖氨酸含量达到 1.76 g/100 g,提高 12.10%,猪肉的营养价值和风味显著改善。

3 桑黄酮

黄酮是一类具有 2-苯基色原酮结构的化合物,具有抗氧化和清除自由基的功效。桑中富含黄酮,总黄酮含量 452~748 mg/100 g,其抗氧化能力和清除羟自由基及超氧自由基的能力分别为 601.10, 2762.32 和 4.62 U/g^[16-17]。桑黄酮行使抗氧化功能,能降低脂质氧化。脂质氧化是畜禽肉质变味的主要原因;脂质氧化使肉中不饱和脂肪酸、脂溶性维生素及色素含量减少,产生过氧化氢和醛等有毒有害物质^[3]。黄酮类化合物还具有杀菌消炎及抗病毒的作用^[18]。此外,桑黄酮也可抑制小肠近腔上皮双糖酶活性,延缓碳水化合物的消化吸收,发挥类似于 DNJ 改善肠道微生物区系结构的作用^[19]。

4 桑多糖

多糖是由 10 个以上的单糖通过糖苷键结合而成的高分子碳水化合物,是药用植物中的主要活性成分之一。多糖作为生物效应调节剂,具有抗肿瘤、抗病毒、降血糖、降血脂等生理功能。桑属于多糖含量丰富的植物,多糖含量因品种而异,多数品种占干物质的 3%左右^[16,20]。研究证实,桑多糖能明显提高四氧嘧啶糖尿病鼠的耐糖量,增强糖尿病鼠的糖元贮存能力,促进胰岛 B 细胞分泌胰岛素而降血糖。桑叶作为泌乳母牛的补充料,能够提高奶产量并降低饲料成本。桑叶用为犍牛的补充料,可以节约代乳料的消耗量,并促进犍牛瘤胃的发育和生长。在以农作物秸秆为基础饲料的场合,添加桑叶补充料对家畜生产具有重要意义^[21]。

5 维生素

桑中富含多种维生素,尤其是 B 族维生素种类丰富、维生素 C 和维生素 E 含量较高。以干物质为基础,每 100 g 桑叶中含维生素 A 0.7 mg,维生素 B₁ 0.5~0.8 mg、B₂ 0.8~1.5 mg、B₃ 4.1 mg、B₅ 3.0~5.0 mg、B₁₁ 0.5~0.6 mg,维生素 C 30~40 mg,维生素 E 30~40 mg^[1]。B 族维生素(VB)全是辅酶,因此被列为一个家族。VB 参与体内糖、蛋白质和脂肪的代谢,是维持机体正常生理机能与代谢活动不可缺少的。VB 无法在体内合成,必须食物补充;VB 全是水溶性的,体内滞留时间只有数小时,多余的 VB 不能贮藏于体内而完全排出体外,所以 VB 必须每天补充。所有的 B 族维生素必须同时发挥作用,称为 VB 的融合作用。维生素 C(VC)是一种水溶性维生素,具有促进胶原蛋白合成,利于机体组织创伤愈合;促进酪氨酸和色氨酸代谢,增强机体抗应激力和提高免

疫力的作用。VC 还是一种特别有效的抗氧化剂,具有捕捉游离的氧自由基的作用,防止自由基对机体的伤害。维生素 E(VE)是一种脂溶性维生素,其水解产物为生育酚,是最主要的抗氧化剂之一。VE 包括生育酚和三烯生育酚两类共 8 种化合物,即 α 、 β 、 γ 、 δ 生育酚和 α 、 β 、 γ 、 δ 三烯生育酚。 α -生育酚是自然界中分布最广、含量最多、活性最高的维生素 E 形式。VE 可有效对抗自由基,抑制过氧化脂质生成;VE 还能抑制酪氨酸酶活性,从而减少黑色素生成。酯化形式的 VE 能消除由紫外线、空气污染等外界因素造成的过多的氧自由基,起到延缓光老化、预防晒伤等作用。研究表明,饲料中添加 VE 能提高鸡腹下脂肪的氧化稳定性,加深蛋黄颜色,这可能与 VE 的抗氧化作用有关,它使类胡萝卜素免受氧化剂的氧化^[22]。饲料桑中 VE 含量丰富,刘美玉等^[7] 研究报道,蛋鸡饲料中添加桑叶粉,蛋黄 VE 含量随着桑叶添加水平的增加而极显著增加,其中 10%桑叶添加组比对照组提高近 3 倍。

6 多种微量活性物质综合作用

6.1 对蛋清浓稠蛋白的影响

蛋黄由蛋清包裹保护着,根据粘稠度的不同,蛋黄周围的蛋清分为二层,外周是流动性大的稀蛋白,内层是流动性较小的浓稠蛋白。蛋清中的卵黏蛋白可分为不溶性和可溶性二类,浓蛋白和稀蛋白中均含可溶性卵黏蛋白,不溶性卵黏蛋白仅存在于浓蛋白中。卵黏蛋白含 α -和 β -二种亚基,蛋白品质主要取决于 β -卵黏蛋白含量。苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸和天冬氨酸是 β -卵黏蛋白的主要成分。桑叶中苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸和天冬氨酸的含量异常丰富,每 g 干物质中分别达到 51.8,33.1,111.2 和 102.0 mg。卵黏蛋白是对蛋清凝胶性起主要作用的糖蛋白。浓稠蛋白高度、哈夫单位是衡量鸡蛋蛋白质品质和鸡蛋新鲜度的重要指标之一,浓稠蛋白高度越高,蛋白越黏稠,蛋白品质越好。鸡蛋储存过程中,最重要的变化就是浓稠蛋白转变成低黏度状态,即浓蛋白液化,并伴随着蛋清 pH 值升高。随着浓稠蛋白的液化,其中的 β -卵黏蛋白逐渐溶解,含量降低,而 α -卵黏蛋白保持不变^[23]。溶菌酶是一种能水解致病菌中黏多糖的碱性酶,具有抗菌、消炎、抗病毒等作用。浓稠蛋白含有丰富的溶菌酶,随着浓稠蛋白的液化,溶菌酶随之失去活性^[24]。高脂低蛋白饲料可诱发蛋鸡发生脂肪肝,抑制或减慢体内蛋白质的合成代谢,显著降低鸡蛋的浓稠蛋白高度,严重影响鸡蛋蛋白质品质。哈夫单位(Haugh unit, Hu)反映蛋品的蛋白质状况和蛋的新鲜程度。2013 年 11 月鸡蛋期货上市以来,作为新鲜度的主要指标,鸡蛋哈夫单位受到了各方的重视^[25]。哈夫单位较低的鸡蛋浓蛋白中不溶性卵黏蛋白的含量显著低于哈夫单位较高的鸡蛋,蛋品存放越久哈夫单位越低^[26]。茶多酚是一类多羟基酚类化合物,具有清除自由基及抗氧化的功效,能够减轻自由基对蛋白质造成的损伤,延缓蛋品贮藏过程蛋白品质的下降^[27]。实验证实,饲料中添加桑叶粉能显著提高蛋品的哈夫单位值和浓稠蛋白量^[2]。

6.2 对蛋鸡生产性能和鸡蛋品质的影响

刘小明等^[2]以罗曼蛋鸡为对象研究了饲料中添加桑叶粉对产蛋性能和鸡蛋品质的影响,结果表明,鸡的采食量和产蛋量随着桑饲料添加量的增加而下降;试验组的总产蛋量、平均产蛋率和平均蛋重均低于对照组;当添加量小于 6%时,平均蛋重、平均产蛋率和料蛋比未出现显著差异;而当添加量大于 9%时,平均蛋重和产蛋率降低达到显著差异水平。饲料中添加桑叶粉,破蛋率显著低于对照;哈夫单位显著提高;蛋黄黄度极显著大于对照,且随桑叶添加量增大而加深。兰翠英等^[4]研究报道,在罗曼粉蛋鸡饲料中添加桑叶粉能极显著提高蛋黄颜色,显著提高蛋黄中多不饱和脂肪酸及 ω -6 系脂肪酸含量;当桑叶粉添加量大于 8%时,显著降低 ω -3 系脂肪酸含量;对鸡蛋其他物理、化学指标影响不显著;过量添加桑叶粉会对产蛋率产生不良影响。刘美玉等^[7]以“农大褐 3 号矮小型蛋鸡”为对象,研究了桑叶粉对鸡蛋品质的影响,结果显示,添加 5.0%和 7.5%桑叶组的蛋黄磷含量显著高于对照组,磷含量间接反映出蛋黄中磷脂的含量,磷脂是蛋黄中重要的风味物质;饲料中添加桑叶粉后蛋黄中饱和脂肪酸显著减少,而单不饱和脂肪酸及多不饱和脂肪酸则极显著提高;对氨基酸组分而言,不同桑叶粉添加量对不同氨基酸种类影响不同,有的显著降低,有的显著增加,但 5.0%和 7.5%桑叶组的 7 种必需氨基酸总量显著高于对照组;蛋黄 VE 含量随桑叶添加量增加而极显著增加;5.0%和 7.5%桑叶组在蛋黄气味和口感上都优于对照;5.0%和 10.0%组的留沙感与对照组差异极显著。添加桑叶对蛋黄胆固醇含量及蛋黄的咸味没有显著性

影响。鸡蛋营养全面,各种氨基酸、维生素、脂肪酸和矿物质很适合人体营养需求,但存在蛋黄胆固醇含量偏高的问题。王道营等^[28]研究报道,蛋鸡日粮中添加桑叶粉可降低蛋黄胆固醇含量,在 3%~15% 的添加范围内,降低程度随添加量的增加先降后升,5%~7% 降幅显著,当添加量 7% 时胆固醇含量最低,下降 9.24%。添加桑叶粉可以显著改善蛋黄脂肪酸构成,增加多不饱和脂肪酸比例,当添加量为 5% 时多不饱和脂肪酸增加 23.63%,特别是二十二碳六烯酸增加显著,增幅达 38.09%。

6.3 对肉食畜禽生产性能和肉品质的影响

Wu 等^[29]研究报道,饲料中添加 3%~7% 桑叶粉对于淮南麻黄鸡生产性能及屠宰性能没有显著性不良影响;添加桑叶粉能够改善鸡肉肉色、提高鸡肉中多种氨基酸的沉积。吴萍等^[3]研究报道,饲料中添加 4%~6% 的桑叶粉,肉鸡日增重、饲料报酬比及成活率明显提高;在屠宰性能方面,半净膛率、全净膛率比对照组显著提高;腿肌率、胸肌率、腹脂率无明显差异;在鸡肉品质方面,添加 6% 桑叶粉明显改善肌肉颜色,而肌肉 pH 值、系水力、嫩度等指标则无显著影响。影响鸡肉风味的因素很多,其中谷氨酸、游离脂肪酸和肌苷酸等是评价鸡肉鲜味的重要指标。在桑叶十几种氨基酸中,谷氨酸的含量最高,每 g 干物质中含量达 111.2 mg。脂质氧化是肉质变味的主要原因,饲料桑中的黄酮类化合物、维生素 E 等具有强抗氧化作用,能降低脂质氧化,维护肉品品质。

饲料中添加 10% 桑叶粉对罗非鱼的生长性能、蛋白质效率、饲料系数和摄食率均无显著影响;但可显著降低脏体指数,提高胴体率;可减缓罗非鱼屠宰后肌肉 pH 值的下降速度、提高肌肉蛋白质持水力,降低肌肉营养损失;肌肉熟肉率指标有升高的趋势,但无统计学意义;可加速胆固醇的转运和代谢,降低血脂和血糖含量,而且具有剂量依赖性^[30]。

郭志强等^[31]研究报道,兔饲料中添加鲜桑叶(鲜桑叶自由采食+兔体重 4% 左右精料),与饲喂配合饲料的对照相比,总增重和日增重及胴体重、全净膛率、半净膛率等生产性能指标没显著性变化;对兔肉营养品质而言,肌肉中粗蛋白、粗脂肪含量没有显著变化,但肌肉中的风味物质肌苷酸含量显著增加;饲喂桑叶对肉色 b 值和 L 值影响不大,但 a 值显著提高,同时能显著降低滴水损失及长时间维持较高的 pH 值,从而改善了兔肉品质。

日粮中添加桑叶对肉羊采食量无显著影响,但对促进日增重和降低料重比有极显著的影响,尤其在 5%~10% 添加范围内效果最佳,日增重提高 14.76%~25.52%,料重比降低 15.59%~21.89%。添加桑叶对羊肉肌肉中的水分含量影响不大。添加 5%~10% 的桑叶使胴体脂肪含量显著高于对照,而当添加量达到 15% 时增幅降低,差异不显著。添加 15% 桑叶使屠宰率显著提高,达到 52.06%。日粮添加桑叶后,桑叶中的黄酮类化合物促进机体超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性增加,清除机体内过量自由基,提高了肉羊的抗氧化能力。添加桑叶后肌肉中肌苷酸含量明显提高,鲜味品质有效改善^[32]。

冯兴龙等^[33]研究了添加不同粗饲料对秦川肉牛产肉性能的影响,结果证明苜蓿(*Medicago sativa*)和桑叶都能显著提高其产肉性能,而桑叶比苜蓿效果更好,净肉重提高 12.63%,屠宰率、净肉率、胴体净肉率和肉骨比分别达到 60.54%、49.70%、82.11% 和 5.21,均显著高于对照;在胴体切块产肉指标中,牛柳、西冷、眼肉等高档牛肉分别达到 4.63、7.27 和 6.60 kg,均显著高于对照;牛腩和米龙分别重 16.13 和 16.20 kg,也都显著高于对照;而牛腱、臀肉、膝园、胸肉等切块肉与对照则无明显差异。吴配全等^[34]报道饲料中添加 10%~20% 发酵桑叶,生长育肥牛每 kg 增重的饲料成本下降 0.29~0.49 元;添加量 20% 以内对其生长性能、血液生化指标无显著影响。吴浩^[35]报道桑叶经过青贮发酵后中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维显著降低,灰分和钙含量显著增高,能值没有显著变化;日粮中添加 7.5%~22.5% 发酵桑叶,瘤胃发酵效果得到改善,每 kg 增重饲料成本下降 1.60~1.64 元。在降低饲料成本的同时不会对日增重、采食量、饲料转化效率等生产性能指标和血液理化指标产生不利影响。

郭建军等^[36]研究报道,在奶牛精料中添加 3%~10% 的桑叶粉,对产奶量和乳脂率无明显影响,但能显著提高牛奶中乳蛋白和干物质含量,维生素 E 含量达到 0.3 mg/100 g,提高 42% 以上,牛奶中体细胞含量下降达到极显著差异水平。

杨静等^[37]研究报道,在育肥猪日粮中添加 10%~15% 的饲用桑粉(平茬收割的全株饲料桑),不影响其生产性能而猪肉品质得到改善。对生产性能的影响,日粮中添加 15% 桑粉,平均日增重不受影响,当添加量增加到 20% 时,平均日增重显著降低;当添加量超过 15% 时,料重比显著增加。对猪肉品质的影响,日粮中添加饲用桑

粉对猪胴体率无不良影响;背膘厚度随桑粉添加量增加而显著降低;添加桑粉可有效延缓宰后肌肉 pH 值下降速度,有利于改善猪肉的品质风味;添加 10%、20%的桑粉,肌肉脂肪分别提高 12.99%和 17.22%,达到显著性差异水平;低水平添加桑粉对肌肉中粗蛋白含量影响较小,当添加量达到 20%时才产生显著差异,比对照提高 3.51%;添加桑粉对剪切力、熟肉率、滴水损失等指标无显著影响。添加 15%、20%的饲用桑粉,猪肉亚油酸含量分别提高 35.91%和 39.06%,不饱和脂肪酸分别提高 4.55%和 3.09%,多不饱和脂肪酸分别提高 32.53%和 36.46%,而饱和脂肪酸则分别降低 7.32%和 4.71%。亚油酸、 α -亚麻酸等多不饱和脂肪酸是猪肉风味的重要前体物质,胴体脂肪中多不饱和脂肪酸增加可以改善猪肉的品质风味,提高肉的食用价值,而且使猪肉更具保健功效^[38]。过量添加饲用桑粉引起日增重减少、料增重比增加,可能是饲料中纤维素含量增加,其抗营养作用增强,影响了猪对矿质元素的吸收及对氮和能量的利用。

郭建军等^[15]研究鲜桑叶对猪的影响,发现日粮中添加鲜桑叶能显著提高育肥猪的生长速度和饲料报酬,日增重提高、料肉比降低。日粮中添加鲜桑叶后,肠道微生物区系发生改变,有害的大肠杆菌极显著减少,而有益的乳酸杆菌和双歧杆菌则极显著增加。益生菌增殖竞争性抑制了有害菌数量,提高了肠道机能;同时,益生菌在消化道内生长繁殖,可以直接产生氨基酸、短链脂肪酸等多种营养物质。添加鲜桑叶后肌肉中总胆固醇降低、高密度脂蛋白胆固醇和肌苷酸增加,均达到极显著差异水平。添加桑叶饲料降低硬脂酸和油酸含量,降幅分别达到 27.49%和 25.36%。日粮中添加 10%和 20%的鲜桑叶后肌肉中 VE 分别为 0.430 和 0.412 mg/g,分别比对照提高 26.1%和 20.8%,达到极显著差异水平;特别的是,当桑叶添加量为 5%时,肌肉中的 VE 反而比对照减少 26.69%,达到极显著差异水平,原因尚待研究。18 种氨基酸中有 8 种氨基酸含量显著增加,其中赖氨酸增幅最大,达 7.6%~14.0%;8 种含量增加的氨基酸中有 4 种为人体必需氨基酸(苏氨酸、亮氨酸、异亮氨酸及赖氨酸);总氨基酸含量也显著增加。必需氨基酸的增加,尤其是赖氨酸含量的增加大大提高了猪肉的营养价值和风味。

邝哲师等^[39]研究报道,在基础日粮中添加 10%~15%的桑枝叶粉对育肥猪的生长性能无不良影响,平均日增重和料肉比与对照无显著性差异。添加桑枝叶粉可减少胴体背膘厚度,增加肌间脂肪沉积和大理石花纹,肌苷酸含量提高 3.94%~7.09%,猪肉的品质与风味显著改善,根据嫩度、多汁性、肉香味、汤味等多项指标的综合风味鉴定评分增加 1.63~2.84 分,肌间脂肪存在于肌纤维之间,其含量的多少表现为肌肉大理石纹花纹的评分,与猪肉的风味、嫩度和多汁性等性状密切相关,是决定猪肉品质的重要指标之一。影响猪肉肌间脂肪含量的因素很多,如遗传、营养、性别等,其中营养因素的影响最为直接^[40]。肌肉间脂肪切断了肌纤维束间的交联结构,有利于咀嚼过程中肌纤维的断裂,从而改善肉的嫩度^[41]。肌肉脂肪富含磷脂,磷脂是影响肉品挥发性风味成分的重要前体物^[42]。

李有贵等^[43]研究报道,饲料中添加 10%桑叶粉不影响育肥猪生长性能,日增重和料重比均无显著性影响;当添加量增加到 20%时会产生不利影响,日增重减少、料重比增加,达到显著性差异水平。饲料添加桑叶粉对猪胴体率没有显著影响;板油率和背膘厚度显著降低,血清甘油三酯、总胆固醇含量显著低于对照,其作用机理是通过调控育肥猪蔗糖酶、脂肪酶及肝脏糖代谢酶活性而达到对脂肪代谢和沉积的调控。饲料中添加桑叶粉显著改善猪肉的品质和风味,添加 10%桑叶粉使肌肉中肌苷酸含量提高 25.56%、脂肪含量提高 11.01%,产生显著性差异。

在繁殖母猪饲料中添加一定量的桑叶,能促进卵泡发育和产后发情,提高产仔数量及仔猪质量,添加 3%桑叶粉产仔数提高 12%、仔猪初生体重提高 13.3%、成活率提高 5.62%^[44]。

7 桑叶中的抗营养因子及其对畜禽生长发育的不利影响

桑叶因含有丹宁和植酸等抗营养因子而影响其在动物饲料中的大剂量使用^[45]。植酸是一种螯合能力很强的酸,具有 6 个带负电的磷酸根基团,可与蛋白质分子螯合而降低动物对蛋白质的消化,此外还能与钙、铁、镁、锌等金属离子结合形成不溶性化合物,降低其有效性。测试表明,桑叶中植酸含量 3.18~4.10 mg/g,且随桑叶叶龄的增长而增加^[46]。桑叶固然是高蛋白、低纤维饲料作物,但其纤维含量还是高于粮食籽粒。高纤维饲料亦能影响家禽对矿物质、氮及能量的吸收和利用^[47]。

目前主要通过改善生产加工工艺、生物发酵等手段来降低或消除抗营养因子,从而提高植物性饲料在动物饲料中的用量^[30]。桑中植酸含量随叶龄成长而增加,而同一桑树品种的叶片和嫩枝叶的营养价值相差不大^[39],因而饲料桑可以采用草本化栽培技术,在枝叶幼嫩时及时刈割收获,从而降低收获物中植酸含量。四川省农业科学院牧业研究中心研究表明,桑叶既可与禾本科饲草以任意比例混合青贮,也可以单独青贮,都能获得极佳的青贮品质。桑叶面附生特殊的益生菌群,桑青贮为同型发酵,1 分子葡萄糖完全分解成 2 分子乳酸,没有 CO₂ 等废气产生,营养转化率高。Cheong 等^[48]认为桑青贮饲料是一种能提高肉牛抗氧化应激活性的功能饲料。

8 桑饲料的开发利用

饲料桑富含蛋白质和碳水化合物、纤维素含量低、氨基酸种类全面、特别是含有多种功能性活性成分,是一种优良的动物营养来源和功能性饲料添加剂^[33,39,49]。用植物蛋白代替鱼粉往往因饲料适口性差导致试验动物摄食率降低,进而影响动物的生长性能^[50];但饲料桑不含动物忌避物质,对所有家禽家畜都具较好的适口性。饲料桑因含有丹宁、植酸等抗营养因子,在实际应用中应根据不同畜禽种类确定适当的饲喂比例,避免造成负面影响。通常情况下,在家禽日粮中,桑叶粉的添加比例以不超过 5% 为宜;水产养殖中以粉料添加 10% 以内为度;对猪等杂食性牲畜而言,添加比例控制在 20% 以内,既可粉料添加,也可鲜叶饲喂,还可青贮发酵后利用;对牛羊等草食性动物而言,添加比例可达到 40%~50% 而不会对生产性能产生不利影响,鲜饲和青贮均可。饲料桑作为一种非常规饲料作物,不仅可以丰富饲料作物新类型,特别是当前畜牧业生产中紧缺的高蛋白饲料作物类型,而且因其含有多种生理活性成分,能有效改善畜禽产品的品质和风味,具有广阔的开发应用前景。桑是多年生植物,一次栽植可以多年收割利用,费省效宏。饲料桑年度供鲜时间长,可以有效弥补常规饲草仲夏和晚秋缺乏青绿饲料的不足。桑作为传统的家蚕饲料,主要以木本化栽培、采片叶利用为主。作为畜禽饲料开发,因其比家蚕强大得多的消化能力,幼嫩枝叶均可利用,且幼嫩枝叶和片叶的营养价值基本相同,因此,饲料桑应以高密度草本化栽培、嫩枝带叶收获利用为主。高密度栽植可以有效提高单位面积产量,草本化带枝收获可以有效节省收获用工,提高生产效益。

我国配合饲料工业基本上采用的是美国模式,能量配料一般以玉米(*Zea mays*)为主要原料。玉米的主要成分是淀粉、脂肪,能量供给充足,但蛋白质含量较低,尤其是必需氨基酸中的赖氨酸、蛋氨酸和色氨酸含量较少,而饲料桑中刚好含量丰富,添加桑粉可以有效弥补其不足。随着蛋禽能量饲料中玉米需求量越来越大,其价格不断上扬,用小麦(*Triticum aestivum*)代替玉米作为能量饲料可以降低饲料成本,提高经济效益。但小麦型日粮缺少色素,必须额外添加增色剂才能保证正常的蛋黄颜色,桑粉以其出色的蛋黄增色功能备受青睐^[6]。

参考文献 References:

- [1] Du Z H, Liu J F, Zuo Y C, *et al.* The nutrient components and utilization as animal forage of mulberry. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(5): 192-200.
杜周和,刘俊凤,左艳春,等. 桑叶的营养特性及其饲料开发利用价值. *草业学报*, 2011, 20(5): 192-200.
- [2] Liu X M, Zeng Y H. Effects of adding mulberry leaf powder to feed on laying performance of layers and egg quality. *Hunan Agricultural Sciences*, 2011, 11: 132-133, 136.
刘小明,曾玉华. 饲料中添加桑叶粉对蛋鸡产蛋性能和鸡蛋品质的影响. *湖南农业科学*, 2011, 11: 132-133, 136.
- [3] Wu P, Li B L, Li L, *et al.* Effect of dietary mulberry powder on growth performance, slaughter performance and meat quality of yellow-feather broilers. *China Poultry*, 2007, 29(7): 13-15.
吴萍,厉宝林,李龙,等. 日粮中添加桑叶粉对黄羽肉鸡生长性能、屠宰性能和肉品质的影响. *中国家禽*, 2007, 29(7): 13-15.
- [4] Lan C Y, Dong G Z, Huang X Z. Effect of mulberry leaves powder on productive performance and egg quality of layer. *China Feed*, 2011, 19: 40-44.
兰翠英,董国忠,黄先智. 桑叶粉对蛋鸡生产性能和蛋品质的影响. *中国饲料*, 2011, 19: 40-44.
- [5] Zhao C X. Studies on the Mulberry Leaf Powder as Additive in the Feedstuff of Laying Hens[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2004.
赵春晓. 桑叶粉在蛋鸡饲料添加剂中的应用研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2004.

- [6] Liu X H, Fan X L, Xie Q Z. Analysis on the factors effecting the egg yolk colour, *Poultry Science*, 2009, 10: 23-25.
刘晓辉, 范秀丽, 解庆柱. 影响禽蛋蛋黄颜色的因素分析. *家禽科学*, 2009, 10: 23-25.
- [7] Liu M Y, Zhang X M, Lian H P, *et al.* Effect on egg yolk quality of mulberry leaf powder additive in dietary for hens. *Food Science*, 2013, 34(5): 223-227.
刘美玉, 张晓梅, 连海平, 等. 桑叶饲料添加剂对鸡蛋黄品质的影响. *食品科学*, 2013, 34(5): 223-227.
- [8] Liu T, Huang B H, Lei Q X, *et al.* The factors effecting egg yolk colour. *Poultry Science*, 2010, 9: 44-46.
刘涛, 黄保华, 雷秋霞, 等. 影响禽蛋蛋黄着色的因素. *家禽科学*, 2010, 9: 44-46.
- [9] Shen M M, Wang Y. Analysis on the factors effecting the pigment deposition in egg yolk. *Guangdong Feed*, 2014, 23(6): 43-45.
沈曼曼, 王莹. 影响蛋黄颜色沉积因素分析. *广东饲料*, 2014, 23(6): 43-45.
- [10] Zhao C, Gu Z L, Gao L J, *et al.* The research progress of egg yolk colour. *Hebei Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2004, 20(2): 16.
赵超, 谷子林, 高立军, 等. 蛋黄着色的研究进展. *河北畜牧兽医*, 2004, 20(2): 16.
- [11] Zhao X Q, Zhao D, Lv N, *et al.* The function of lutein and its application in forage. *Guangdong Feed*, 2016, 25(6): 35-37.
赵雪芹, 赵丹, 吕宁, 等. 叶黄素的功能及在饲料中的应. *广东饲料*, 2016, 25(6): 35-37.
- [12] Qu L, Xu X L, Wang K H, *et al.* Effects of paprika powder on laying performance, egg quality, serum lipid indices and yolk cholesterol content of Suqin green-shelled laying hens. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(5): 1340-1346.
曲亮, 徐小林, 王克华, 等. 辣椒粉对苏禽绿壳蛋鸡产蛋性能、蛋品质、血清脂质和蛋黄胆固醇含量的影响. *动物营养学报*, 2014, 26(5): 1340-1346.
- [13] Yang H X, Zhu X R. The research progress of 1-deoxyojirimycin. *Bulletin of Sericulture*, 2003, 34(1): 6-10.
杨海霞, 朱祥瑞. 1-脱氧野尻霉素(DNJ)的研究进展. *蚕桑通报*, 2003, 34(1): 6-10.
- [14] Li Y, Miao J Z. The functionality composition of mulberry and health product development. *Food and Nutrition in China*, 1999, 3: 25.
李勇, 苗敬芝. 桑叶的功能性成分及保健制品的开发. *中国食物与营养*, 1999, 3: 25.
- [15] Guo J J, Qiu D R, Li X B, *et al.* Effect of dietary fresh mulberry leaf on growth performance and meat quality of fattening pigs. *Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2011, 43(9): 47-50.
郭建军, 邱殿锐, 李晓滨, 等. 日粮鲜桑叶对育肥猪生长性能和肉质的影响. *畜牧与兽医*, 2011, 43(9): 47-50.
- [16] Liao S T, Xiao G S. *The Innovation and Utilization of Sericulture Resources[M]*. Peking: China Agricultural Sciences and Technology Press, 2006: 90-119.
廖森泰, 肖更生. *蚕桑资源创新利用[M]*. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006: 90-119.
- [17] Jia Z S, Tang M C, Zhu X R. Study on effect of scavenging superoxide free radical on mulberry flavonoids. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 1996, 22(5): 519-523.
贾之慎, 唐孟成, 朱祥瑞. 桑树黄酮类化合物清除超氧离子自由基 O₂⁻的研究. *浙江农业大学学报*, 1996, 22(5): 519-523.
- [18] Jiangsu Medical College. *Traditional Chinese Medicine[M]*. Shanghai: Shanghai Sciences and Technology Press, 1990: 1296-1297.
江苏医学院. *中药大辞典[M]*. 上海: 上海科学技术出版社, 1990: 1296-1297.
- [19] Yu L Y, Li X R, Fang X. Inhibitory effect of total flavonoids from mulberry leaf on small intestine disaccharidases in diabetic rats. *Chinese Journal of Endocrinology and Metabolism*, 2002, 18(4): 313-315.
俞灵莺, 李向荣, 方晓. 桑叶总黄酮对糖尿病大鼠小肠双糖酶的抑制作用. *中华内分泌代谢杂志*, 2002, 18(4): 313-315.
- [20] He X M, Liao S T, Liu J P. Research progress on nutrient and functional components and pharmacology of mulberry. *Science of Sericulture*, 2004, 30(4): 390-394.
何雪梅, 廖森泰, 刘吉平. 桑树的营养功能性成分及药理作用研究进展. *蚕业科学*, 2004, 30(4): 390-394.
- [21] Su H Y, Wu Y M, Liu J X. The nutritive components and functional Components in mulberry leaf. *Feed Research*, 2001, 9: 1-3.
苏海涯, 吴跃明, 刘建新. 桑叶中的营养物质和生物活性物质. *饲料研究*, 2001, 9: 1-3.
- [22] Cheng Z G, Lin Y C, Zheng L. Research progress on sebum and egg yolk colour of broiler chicken. *China Feed*, 2001, 4: 5-7.
程忠刚, 林映才, 郑黎. 肉鸡皮脂和蛋鸡蛋黄着色研究进展. *中国饲料*, 2001, 4: 5-7.
- [23] Robinson D S, Monsey J B. Changes in the composition of ovomucin during liquefaction of thick egg white. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1972, 23(1): 29-38.
- [24] Tong Q G, Tang W W, Song M N. Distribution of lysozyme activity in fresh egg. *Food Sciences*, 2011, 32(9): 18-21.
仝其根, 唐巍巍, 宋美娜. 鲜鸡蛋中溶菌酶的活性分布. *食品科学*, 2011, 32(9): 18-21.

- [25] Wang X C, Wu S G, Yue H Y, *et al.* Ovomucin: structure composition, physicochemical properties, the role in egg white thinning and nutritional modulation. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(2): 327-333.
王晓翠, 武书庚, 岳洪源, 等. 卵黏蛋白: 结构组成、理化性质、在浓蛋白液化中的作用及营养调控. *动物营养学报*, 2015, 27(2): 327-333.
- [26] Toussant M J, Latshaw J D. Ovomucin content and composition in chicken eggs with different interior quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1999, 79(12): 1666-1670.
- [27] Zhang X, Jiang G T, Wang X R, *et al.* Effects of tea polyphenols on performance, egg quality and yolk cholesterol content of laying hens. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(5): 869-874.
张旭, 蒋桂韬, 王向荣, 等. 茶多酚对蛋鸡生产性能、蛋品质和蛋黄胆固醇含量的影响. *动物营养学报*, 2011, 23(5): 869-874.
- [28] Wang D Y, Bian H, Zhu Y Z, *et al.* Effects of mulberry leaf powder on cholesterol content and fatty acid composition of egg yolk. *Acta Agriculture Jiangxi*, 2011, 23(8): 139-140.
王道营, 卞欢, 诸永志, 等. 桑叶粉对鸡蛋蛋黄胆固醇含量和脂肪酸组成的影响. *江西农业学报*, 2011, 23(8): 139-140.
- [29] Wu D, Qian K, Zhou F, *et al.* Effect of different contents of mulberry leaf in diets on production performance of Huainan partridge chicken. *Acta Ecologiae Animalis Domastici*, 2013, 34(10): 39-43.
- [30] Li F J, Yang Y, Chen W Y, *et al.* Effects of dietary mulberry leaves on growth performance, fat metabolism and muscle quality of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(11): 3485-3492.
李法见, 杨阳, 陈文燕, 等. 桑叶对罗非鱼生长性能、脂质代谢和肌肉品质的影响. *动物营养学报*, 2014, 26(11): 3485-3492.
- [31] Guo Z Q, Mei X L, Lei M, *et al.* Fresh mulberry leaves-supplement diets on performance and meat quality of rabbit. *South-west China Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 30(1): 215-221.
郭志强, 梅秀丽, 雷岷, 等. 饲料补充鲜桑叶对肉兔生产性能和肉品质的影响. *西南农业学报*, 2017, 30(1): 215-221.
- [32] Li W L. Effects of Mulberry Leaves on Performance, Serum Biochemical Parameters, Immune Function, Antioxidation and Meat Quality in Meat Sheep[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2012.
李伟玲. 桑叶对肉羊生产性能、血液生化指标、免疫抗氧化功能和肉品质的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
- [33] Feng X L, Zhao C P, Zan L S, *et al.* Effects of different roughage treatment on the meat production performance of Qinchuan beef cattle. *China Cattle Science*, 2014, 40(6): 20-24.
冯兴龙, 赵春平, 咎林森, 等. 不同粗饲料处理对秦川肉牛产肉性能影响的研究. *中国牛业科学*, 2014, 40(6): 20-24.
- [34] Wu P Q, Ren L P, Zhou Z M, *et al.* Effects of mulberry leaf fermentation on growth performance, serum biochemical parameters, economic benefit. *Chinese Journal of Animal Science*, 2011, 47(23): 43-46.
吴配全, 任丽萍, 周振明, 等. 饲喂发酵桑叶对生长育肥牛生长性能、血液生化指标及经济效益的影响. *中国畜牧杂志*, 2011, 47(23): 43-46.
- [35] Wu H. Application of Mulberry (*Morus alba*) Leaves and Dried Distillers Grains with Solubles on Ruminant Feeding[D]. Peking: China Agricultural University, 2015.
吴浩. 桑叶和 DDGS 在反刍动物饲养中的应用研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [36] Guo J J, Li X B, Qi X M, *et al.* Effects of dietary mulberry leaf on milk yield and milk quality of dairy cattle. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2011, 1: 96-97.
郭建军, 李晓滨, 齐雪梅, 等. 饲料中添加桑叶对奶牛产奶量和奶品质的影响. *黑龙江畜牧兽医*, 2011, 1: 96-97.
- [37] Yang J, Li T Z, Cao H Z, *et al.* Effects of dietary forage mulberry on growth performance and meat quality of finishing pigs. *Chinese Journal of Animal Science*, 2014, 50(7): 52-56.
杨静, 李同洲, 曹洪战, 等. 不同水平饲用桑粉对育肥猪生长性能和肉质的影响. *中国畜牧杂志*, 2014, 50(7): 52-56.
- [38] Migdal W, Barteczko J, Brwicz F, *et al.* The influence of dietary levels of essential fatty acid in full-dose mixtures on cholesterol level in blood and tissues in fatteners. *Advance Agriculture Science*, 2000, 7(1): 43-48.
- [39] Kuang Z S, Ye M Q, Zhao X J, *et al.* Primary study on the nutrition and function of mulberry leaf powder forage. *Feed and Animal*, 2011, 7: 33-36.
邝哲师, 叶明强, 赵祥杰, 等. 桑枝叶粉饲料化利用的营养及功能性研究初探. *饲料与畜牧*, 2011, 7: 33-36.
- [40] Wang Z W, Wang R H. Dietary nutritional regulation on intramuscular fat of pigs. *China Feed*, 2015, 24: 29-31.
王铮玮, 王仁华. 猪肉肌间脂肪的营养调控. *中国饲料*, 2015, 24: 29-31.
- [41] Guo X L, Tang R Y, Liu D Y, *et al.* Effect of intramuscular fat on pork quality and dietary nutritional regulation for improving intramuscular fat. *China Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2011, 38(5): 214-217.
郭秀兰, 唐仁勇, 刘达玉, 等. 肌内脂肪对猪肉品质的影响及其营养调控作用. *中国畜牧兽医*, 2011, 38(5): 214-217.
- [42] Luo J, Pu Q, Yu X, *et al.* Research progress on the mechanism of intramuscular fat in pork. *Swine Industry Science*, 2014,

- 10: 114-116.
- 罗嘉, 蒲强, 余霞, 等. 猪肌肉脂肪沉积机理研究进展. 猪业科学, 2014, 10: 114-116.
- [43] Li Y G, Zhang L, Zhong S, *et al.* Effects of dietary mulberry leaf on growth performance, fat metabolism and meat quality of finishing pigs. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2012, 24(9): 1805-1811.
- 李有贵, 张雷, 钟石, 等. 饲料中添加桑叶对育肥猪生长性能、脂肪代谢和肉品质的影响. 动物营养学报, 2012, 24(9): 1805-1811.
- [44] Guo J J, Li X B, Qi X M, *et al.* Effect of dietary mulberry leaf on reproduction performance in breeding sow. The Chinese Livestock and Poultry Breeding, 2010, 9: 63-64.
- 郭建军, 李晓滨, 齐雪梅, 等. 饲料中添加桑叶对种母猪繁殖性能的影响. 中国畜禽种业, 2010, 9: 63-64.
- [45] Makkar H P S. Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. Small Ruminant Research, 2003, 49(3): 241-256.
- [46] Li Z G, Zhao A C, Wang X L, *et al.* Optimization of extraction condition for phytic acid from mulberry leaf and determination of phytic acid contents in mulberry leaf and silkworm excrement. Science of Sericulture, 2012, 38(2): 224-231.
- 李镇刚, 赵爱春, 王茜龄, 等. 桑叶植酸的提取条件优化及桑叶和蚕粪中的植酸含量检测. 蚕业科学, 2012, 38(2): 224-231.
- [47] Wang K K, Yu Z, Shao T, *et al.* Effects of lactobacillus on fermentation quality of mixed silage of *Medicago sativa* and *Elymus dahuricus*. Acta Prataculturae Sinica, 2010, 19(4): 94-100.
- 王昆昆, 玉柱, 邵涛, 等. 乳酸菌制剂对不同比例苜蓿和披碱草混贮发酵品质的影响. 草业学报, 2010, 19(4): 94-100.
- [48] Cheong S H, Kim K H, Jeon B B, *et al.* Effect of mulberry silage supplementation during late fattening stage of Hanwoo (*Bos taurus coreanae*) steer on antioxidative enzyme activity within the longissimus muscle. Animal Production Science, 2012, 52: 240-247.
- [49] Xia S Y, Wang C Z, Zhan F B, *et al.* Effect of adding cellulose to alfalfa meal ration on production performance, egg quality and nutrient digestibility on layers. Acta Prataculturae Sinica, 2011, 20(5): 183-191.
- 夏素银, 王成章, 詹发柏, 等. 苜蓿草粉饲料添加纤维素酶对蛋鸡生产性能、蛋品质及养分利用率的影响. 草业学报, 2011, 20(5): 183-191.
- [50] Webster C D, Tiu L G, Tidwell J H, *et al.* Growth and body composition of channel catfish (*Ictalurus Punctatus*) fed diets containing various percentages of canola meal. Aquaculture, 1997, 150(1/2): 103-112.