

饲料淀粉类酶制剂的营养机理及应用现状

蒋苏苏¹, 段红伟², 于 锋¹

(1. 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020; 2. 广州威司特生物科技有限公司, 广东 广州 510663)

摘要:饲料中的淀粉作为主要的供能物质,对动物的生长发育起着重要作用。淀粉类酶制剂的应用,提高了谷物的利用率及动物的生产效率,其研究具有重要意义。本研究综述了淀粉类酶制剂的分类及其对动物的作用,展望了淀粉酶的开发和利用前景。

关键词:淀粉;淀粉酶;应用

中图分类号:S816.11 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0629(2012)06-1007-06

谷物是动物日粮的重要组成成分,而谷物中的淀粉是单胃动物的主要能量来源,其供能占动物需求的 60%~80%。一般幼龄动物消化道内淀粉酶和麦芽糖酶活性很低,不能充分消化日粮中的淀粉,大量饲喂淀粉可引起幼龄动物腹泻,而成年动物对淀粉的表观消化率也只有 80%~95%。在饲料工业中,淀粉类酶制剂作为一种重要的消化性酶制剂能有效地补充动物在特定条件下内源酶的不足,起到辅助动物消化道酶系,降解淀粉成为易吸收的小分子的作用。

1 日粮中的淀粉

1.1 淀粉结构 淀粉是由 α -D-葡萄糖单元聚合而成的多糖。不同来源的淀粉,其形状和大小等不同。根据葡萄糖聚合方式及淀粉形态的不同,淀粉分为直链淀粉和支链淀粉。直链淀粉是以葡萄糖单元经 α -1,4 糖苷键连接而成的直链状淀粉,分子质量变化较大。直链淀粉还含有相当一部分的分支直链淀粉,分支点隔开很远,物理性质基本上和直线型直链淀粉相同^[1]。支链淀粉是一种高分枝的束状结构,主链通过 α -1,4 糖苷键连接而成。 α -1,6 糖苷键约占总糖苷键 4%~5%,相对分子量较大。直链淀粉难溶于水,溶液不稳定,凝成性强,支链淀粉则相反。玉米(*Zea mays*)和小麦(*Triticum aestivum*)约含直链淀粉 28%,马铃薯(*Solanum tuberosum*)含 21%,木薯(*Manihot esculenta*)含 17%^[2]。根据支链淀粉侧链连接方式可将其分为:A 型、B 型和 C

型。A 型淀粉支链较多且排列分散,B 型淀粉支链较少,链与链之间较集中,C 型淀粉介于两者之间。体外研究发现,A 型淀粉易于动物消化利用,多为谷物类淀粉,B 型淀粉经热处理后也难以消化,而 C 型淀粉消化性介于 A 型淀粉和 B 型淀粉之间,大部分为豆类淀粉。

1.2 淀粉的分类 根据营养学分类,淀粉可分为:1)快速消化淀粉(Rapidly Digestible Starch, RDS),即经过加热处理的糊化淀粉,这种淀粉易于消化;2)缓慢消化淀粉(Slowly Digestible Starch, SDS),即天然淀粉,可被缓慢地完全消化;3)抗性淀粉(Resistant Starch, RS)。Englyst 等^[3]将抗性淀粉分为 3 个亚类:1)物理上不可接近的淀粉,阻碍了淀粉酶对其的降解作用。如包裹在食糜内部,或位于部分破碎颗粒或整粒谷物内,谷物颗粒的大小和组成阻止了淀粉酶的作用;2)具有特殊结构或构成,对酶具有高度抗性,影响天然淀粉的消化;3)加工过程中形成的“回生”淀粉。“回生”淀粉又称为老化淀粉,指直链淀粉和支链淀粉组成的淀粉在糊化时分散,但在冷却时分散的分子重新发生聚合形成的结晶体,这种结晶体能抵抗酶的水解作用,也是最主要的抗性淀粉。Brown^[4]研究发现,“回生”淀粉在动物体内未经消化可转入肠道后段。Patil 等^[5]研究了不同的来源的饲料中淀粉的组成(表 1)。

1.3 淀粉的消化利用 在畜禽体内,淀粉的消化开始于口腔,唾液 α -淀粉酶水解淀粉生成寡糖和少

收稿日期:2011-07-13 接受日期:2011-08-19

基金项目:广州留学人员科技创业资金项目“耐高温饲用木聚糖酶开发与应用”(2009Q-P119)

作者简介:蒋苏苏(1988-),女(回族),安徽亳州人,在读硕士生,研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail:jecho1988@163.com

通信作者:于锋 E-mail:fy_applon@hotmail.com

表 1 不同饲料的淀粉组成^[5]Table 1 Starch ingredients in different feed^[5]

饲料 Feed	干物质含量 Dry matter content(DM)	快消化淀粉 Rapidly digestible starch(RDR)	缓慢消化淀粉 Slowly digestible starch(SDS)	抗性淀粉 Resistant starch(RS)	总淀粉 Total starch (TS)
玉米 Corn	93.7	37.1	15.6	25.2	77.9
高粱 Sorghum	93.6	29.2	13.9	36.1	79.2
大麦 Barley	93.7	24.9	12.1	18.2	55.2
小麦 Wheat	93.0	29.9	7.3	13.6	50.8
啤酒糟 Brewer's grains	91.9	40.1	18.5	29.2	87.8
小麦粉 Wheat meal	92.6	38.1	29.0	1.7	68.8
大麦粉 Barley meal	94.5	37.7	30.6	1.2	69.5
红菜豆 Barley flour	86.5	2.4	8.2	24.6	35.2
小扁豆 Lentils	91.4	8.8	9.5	25.4	43.8
玉米淀粉 Corn starch	88.0	71.8	22.6	8.1	102.5
马铃薯淀粉 Potato starch	91.6	27.2	3.3	66.9	97.4

量葡萄糖,但作用有限。唾液淀粉酶的最适 pH 值是 6.6~6.8,在食糜进入胃后,唾液淀粉酶的作用被胃酸破坏,胃内没有消化淀粉的酶,但可以受到胃酸的微弱水解。另外,胃的机械作用能够破坏大多数食物的结构,从而使淀粉酶接触到原来被蛋白质网络或细胞壁包埋的淀粉。淀粉的主要消化部位位于小肠,淀粉在消化液中的 α -淀粉酶作用下,被分解为麦芽糖、麦芽三糖及 α -极限糊精。大分子的 α -极限糊精又在小肠分泌的低聚 α -极限糊精酶作用下分解为二糖,而后,在胰腺和肠粘膜中的麦芽糖酶、蔗糖酶和乳糖酶作用下最终分解为单糖。Rogel 等^[6] 研究发现,空肠 α -淀粉酶活性最强,大部分淀粉可在空肠内消化。

1.4 淀粉性质对畜禽消化利用的影响

1.4.1 淀粉颗粒大小、直/支链淀粉比及来源 由于品种及生长阶段的差异,淀粉的颗粒大小、直/支链淀粉的含量与比率及淀粉结晶程度也存在差异。体外法研究发现大淀粉颗粒水解速度较慢,说明淀粉颗粒的大小影响淀粉水解速度,进而影响酶对淀粉的降解。Zobel^[7] 研究发现,饲料淀粉中直链淀粉含量越高其消化性能越差。Regmi 等^[8] 也证实,体外消化率低且直链淀粉含量较高的淀粉,可增强猪的肠道内营养物质的流动及微生物发酵,选择性地促进后肠末端双歧杆菌的生长。Zhou 等^[9] 研究发现,玉米中的直/支链淀粉比是影响鸭子的真代谢能的主要因素,同时也可作评定玉米生物学效价的重要指标。戴球仲等^[10] 证实,用直/支链淀粉比不同的日粮饲喂黄羽肉仔鸡,试鸡的腹脂率和食后 0.5 h

血液中葡萄糖和胰岛素含量受到显著影响。Weuding 等^[11] 研究发现,不同的饲料淀粉在肉鸡体内消化率不同,且在特定消化部位消化率也存在差异,淀粉主要消化部位为肉鸡的空肠。

1.4.2 饲料加工处理 饲料在高温、高压、高水分及高机械力作用下,淀粉分子间氢键断裂,产生水化作用,淀粉由生淀粉(β -淀粉)转化为熟淀粉(α -淀粉),即完成淀粉的糊化作用。在饲料加工过程中,淀粉的本质并没有发生变化,只是淀粉部分发生糊化,或产生少量的老化淀粉。淀粉的水解程度随糊化度增加。胡友军等^[12] 研究发现,糊化淀粉使仔猪淀粉表观消化率平均提高了 6.7%,血糖反应提前且峰值持续较长。许多学者研究了不同饲料加工处理方法及其对饲料淀粉消化部位、消化速率和消化程度的影响。目前,有大量关于饲料加工处理对饲料淀粉消化部位和消化率影响的研究。Hale^[13] 总结了 18 种饲料加工方法,并将其分为干处理和湿处理两大类,同时研究发现由于处理方法的差异饲料淀粉的消化出现差异。Muir 等^[14] 发现,到达后肠中的淀粉量与谷物中抗性淀粉的含量及加工方式有关,即抗性淀粉含量越高,如未经蒸煮碾磨等方式处理的谷物,过小肠而未能被消化的淀粉颗粒越多。Tricarico 等^[15] 研究发现,不同加工方式的玉米中添加 α -淀粉酶(添加量 580 或 160 DU·kg⁻¹, DM)可提高干物质摄入量和平均体质量日增加量。每千克干物质添加 580 DU 的 α -淀粉酶后,背最长肌的面积最大。Carre 等^[16] 将淀粉来源为小麦、玉米和豌豆(*Pisum sativum*)的饲

料,经粉碎(过 2 mm 筛)后蒸汽制粒处理,发现淀粉消化率明显增大(表 2)。

2 淀粉酶

2.1 淀粉酶类型和来源 催化淀粉水解的酶统称为淀粉酶(Amylase),按照底物水解方式分为 4

类: α -淀粉酶(α -Amylase)、 β -淀粉酶(β -Amylase)、糖化酶(Glucoamylase)和脱支酶(Debranchins enzyme)。微生物中产淀粉酶的菌种非常广泛,通过发酵等工艺,不同的微生物可以产生不同的淀粉酶(表 3)。

表 2 饲料加工处理对成年肉鸡淀粉消化率的影响^[16]
Table 2 Effects of feed processing on starch digestibility of broiler^[16]

饲料 Ingredient	处理 Treatment	淀粉消化率 Starch digestibility/%
小麦 Wheat	粉碎通过 2 mm 筛 Ground and screened through 2 mm sieve	96.4
	粉碎+蒸汽颗粒 Ground+steamed partical	97.2
玉米 Corn	粉碎通过 2 mm 筛 Ground and screened through 2 mm sieve	98.1
	粉碎+蒸汽颗粒 Ground+steamed partical	98.2
豌豆 Pea	粉碎通过 2 mm 筛 Ground and screened through 2 mm sieve	91.5
	粉碎+蒸汽颗粒 Ground+steamed partical	95.9

表 3 微生物来源的淀粉酶类型^[17]
Table 3 The microbial source of amylase^[17]

微生物 Microorganism	淀粉酶类型 Type of Amylase	作用位点 Action sites
枯草杆菌 <i>Bacillus subtilis</i>	α -淀粉酶 α -amylase	α -1,4 糖苷键 α -1,4 glycosidic bonds
淀粉液化芽孢杆菌 <i>Bacillus amylolique faciens</i>	α -淀粉酶 α -amylase	α -1,4 糖苷键 α -1,4 glycosidic bonds
巨大芽孢杆菌 <i>Bacillus megaterium</i>	β -淀粉酶 β -amylase	α -1,4 糖苷键 α -1,4 glycosidic bonds
假单胞菌 <i>Pseudomonas stutzeri</i>	α -淀粉酶 α -amylase	α -1,4 糖苷键 α -1,4 glycosidic bonds
产气气杆菌 <i>Aerobacter aerogens</i>	异淀粉酶 Isoamylase	α -1,4 糖苷键或 α -1,6 糖苷键 α -1,4 glycosidic bonds or α -1,6 glycosidic bonds
软化芽孢杆菌 <i>Bacillus mecerans</i>	环式糊精生成酶 Cyclo-dextrin generate enzyme	α -1,4 糖苷键 α -1,4 glycosidic bonds
德式根酶 <i>Rhizopus delemar</i>	葡萄糖淀粉酶 Glucoamylase	α -1,4 糖苷键或 α -1,6 糖苷键 α -1,4 glycosidic bonds or α -1,6 glycosidic bonds
黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i>	葡萄糖淀粉酶 Glucoamylase	α -1,4 糖苷键 α -1,4 glycosidic bonds
	葡萄糖苷转移酶 Glucoside transferase	α -1,6 糖苷键 α -1,4 glycosidic bonds
	α -淀粉酶 α -amylase	α -1,4 糖苷键 α -1,4 glycosidic bonds
拟内孢酶 <i>Endomycopsis fibuliger</i>	葡萄糖淀粉酶 Glucoamylase	α -1,4 糖苷键或 α -1,6 糖苷键 α -1,4 glycosidic bonds or α -1,6 glycosidic bonds

2.2 淀粉酶的作用机理及其特性

2.2.1 α -淀粉酶 α -淀粉酶是一种内切淀粉酶,以随机切断 2-1,4-糖苷键的方式作用于淀粉分子,对分支点的 α -1,6-糖苷键无效,且不能越过分支点水解 α -1,4-糖苷键,水解后葡萄糖还原末端 C1 的构型为 α -型,故称为 α -淀粉酶。直链淀粉子在 α -淀粉酶作

用下,可迅速水解为麦芽糖、麦芽三糖和较大的寡糖,再进一步水解为麦芽糖和葡萄糖。 α -淀粉酶水解淀粉的最初阶段,淀粉分子降解,引起黏性迅速降低,工业上称为液化作用。

酶是有“活性”的蛋白质,其催化活力和稳定性受到很多因素的影响,其中最主要的是温度和 pH

值。酶都有最适的温度和 pH 值范围,在此范围内酶活力最好。不同来源的淀粉酶也有其最适温度和 pH 值范围。芽孢杆菌和地衣芽孢杆菌所产的 α -淀粉酶耐热性最高,其最适温度为 90~92 °C,属耐高温型淀粉酶;枯草杆菌所产的 α -淀粉酶,最适反应温度为 70 °C,属中温型淀粉酶;真菌来源的 α -淀粉酶,最适温度为 55 °C。通常淀粉酶在 pH 值 5.5~8.0 时稳定,在 pH 值 4.0 以下时易失活,最适 pH 值为 5.0~6.0。除黑曲霉产生的 α -淀粉酶耐酸(pH 值 2.0~3.0),其他酶一般不耐酸,pH 值低于 4.5 时易失活。纯化的 α -淀粉酶在 50 °C 以上容易失活,但在大量 Ca^{2+} 存在或淀粉的水解产物糊精存在时酶对热的稳定性会增强^[17]。

2.2.2 β -淀粉酶 β -淀粉酶为外切型淀粉酶,作用于淀粉非还原末端的 α -1,4-糖苷键,依次切下一个麦芽糖单位,对分支点的 α -1,6-糖苷键无效,且不能跨过分支点水解,生成麦芽糖及大分子的 β -界限糊精,产物由 α -型变为 β -型麦芽糖,故称为 β -淀粉酶。 β -淀粉酶的活性中心为巯基(-SH),在氧化剂、重金属离子及巯基试剂作用下可失活,但还原性试剂如谷胱甘肽、半胱氨酸能提高其对热的稳定性。 β -淀粉酶和 α -淀粉酶作用最适 pH 值范围基本相同,一般在 5.0~6.5,但 β -淀粉酶的热稳定性明显低于 α -淀粉酶,70 °C 以上均会失活。不同来源的 β -淀粉酶差异较大,细菌 β -淀粉酶最适作用温度低于 50 °C。此酶的主要产酶菌种有曲霉、根霉和内孢霉。

2.2.3 葡萄糖淀粉酶 葡萄糖淀粉酶也称为 α -1,4 葡萄糖水解酶,俗称糖化酶。糖化酶对淀粉的水解作用与 β -淀粉酶相似,从淀粉非还原端开始催化 α -1,4 糖苷键断裂,水解产物只有葡萄糖。糖化酶专一性较差,水解 α -1,4 糖苷键的同时,还能以较低的速度催化 α -1,6 和 α -1,3 糖苷键的断裂。不同来源的糖化酶最适温度和 pH 值存在一定差异。黑曲霉的最适温度为 55~60 °C,最适 pH 值为 3.5~5.5;根霉的最适温度为 50~55 °C,最适 pH 值为 4.5~5.5;拟内孢霉最适温度为 50 °C,最适 pH 值为 4.8~5.0。以上这 3 种是主要的产酶菌种,但其所产糖化酶各有差异。黑曲霉的酶活稳定,能在较高的温度和较低 pH 值范围内使用,但产物中混有少量葡萄糖基转移酶,影响了葡萄糖的最终产率,根霉和拟内孢霉所产酶不含杂酶。根霉由于不适合深层发酵,工业上很难实现大量生产。目前,我国生产上

最常用的是黑曲霉及其突变株发酵培养。

2.2.4 脱支酶 脱支酶能高效、专一的切开支链淀粉分支点的 α -1,6 糖苷键,从而切下支链淀粉的整个侧链,形成直链淀粉。 α -1,6 糖苷键是淀粉水解利用率低的主要障碍因素。所以,脱支酶和其他淀粉酶的配合使用,能有效提高淀粉利用率。根据水解底物专一性不同,可将脱支酶分为异淀粉酶(Isoamylase)、普鲁兰酶(Pullulanase)、低聚葡萄糖苷酶(Oligo-1-6-glucosidase)和淀粉-1,6 葡萄糖苷酶(Amylo-1-6-glucosidase)。

目前,较为广泛使用的脱支酶为异淀粉酶和普鲁兰酶,这两种酶对底物的水解方式各有差异。异淀粉酶能水解分支点的 α -1,6 糖苷键,但对直链淀粉中的 α -1,6 糖苷键无作用。其最小作用底物是 63-麦芽三糖基麦芽四糖,当分支点葡萄糖残基少于 3 个时不能发挥作用,对普鲁兰糖(Pullulan)无作用。普鲁兰糖也称为茁酶多糖,是由麦芽三糖两端以 α -1,6-糖苷键连接其他麦芽三糖形成的高分子多糖。普鲁兰酶可以作用于直/支链淀粉中的 α -1,6 糖苷键,水解所要求的底物分子最小。

2.3 淀粉酶应用研究 研究表明,在动物日粮中添加淀粉酶,可提高动物的生产性能,改善饲料转化率。Gracia 等^[18]研究发现日粮中添加 α -淀粉酶,可使肉鸡体质量日增加量提高 9.4% ($P < 0.05$),饲料转化率提高 4.2% ($P < 0.05$)。蒋正宇等^[19]也发现 α -淀粉酶的添加,提高了肉鸡前期和后期体质量增加量,且体质量日增加量与添加剂量呈线性关系 ($P < 0.01$),但饲料转化率未受影响。Pavlovic 等^[20]证实,与基础日粮组相比,实验组降低代谢能 5% 的同时添加 α -淀粉酶,体质量日增加量较基础日粮组高出 1.95%,料重比下降 0.54%, α -淀粉酶的添加有利于动物健康和提高经济效益。Onderci 等^[21]研究发现,添加产 α -淀粉酶的大肠杆菌到仔鸡饮水中,显著提高了 21 日龄仔鸡的体质量日增加量 ($P < 0.05$)、饲料转化率 ($P < 0.01$) 及饲料的表现消化率 ($P < 0.01$),但对粗蛋白及脂肪的消化率无显著影响;产 α -淀粉酶的大肠杆菌的添加相对减少了胰腺的质量,但对肝脏质量及空肠、回肠等长度无显著影响 ($P > 0.05$)。可能是由于禽类消化道较短,内源淀粉酶分泌有限,使得淀粉酶对食糜中淀粉的消化程度受到限制,而添加淀粉酶可弥补内源淀粉

酶的不足,提高对淀粉及能量的利用率,进而改善了其生产性能。金立志^[22]进行了添加含淀粉酶的复合酶试验,发现该复合酶使肉鸡平均生长速度提高3.5%,饲料转化率提高2.5%~13.9%。刘庆华等^[23]研究以玉米-豆粕型为基础日粮,分别添加0.15 kg·t⁻¹淀粉酶、0.20 kg·t⁻¹复合酶和0.20 kg·t⁻¹复合酶+0.15 kg·t⁻¹淀粉酶,发现单独添加淀粉酶能显著提高蛋种鸡对饲料中淀粉、干物质、有机物和能量的利用率与日粮代谢能($P<0.05$);单独或与复合酶联合添加淀粉酶均能显著改善蛋种鸡的产蛋率与料蛋比($P<0.05$),与单独添加相比,两者联合添加有进一步提高养分利用率的趋势,但效果并不明显。以上研究表明,日粮中淀粉酶或含有淀粉酶的复合酶,均可改善动物对养分利用率。淀粉酶的使用对单胃动物淀粉的消化有重要的影响。Tricarico等^[15]研究表明,粗饲料[紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、棉仔饼]中添加 α -淀粉酶对肉牛胴体品质有显著影响($P<0.05$),棉籽饼添加组提高28~112 d的体质量日增加量(ADG),并且在其他阶段也趋向提高ADG。在两种来源的粗饲料中,添加 α -淀粉酶可提高肉牛背最长肌的眼肌面积(LM)。Klingerman等^[24]也证实了外源 α -淀粉酶的添加能改善泌乳期奶牛的生产性能。另外,饲料中添加的外源酶对动物机体内源酶的影响一直是人们关注的焦点。外源性酶与畜禽内源性消化酶活性的关系较为复杂,受到动物品种和饲料类型等多方面的影响。据推测,在饲料中添加外源性酶制剂,可增加在肠道中进一步分解或吸收的养分量,从而刺激机体消化系统的发育^[25]。奚刚等^[26]研究玉米-豆粕型饲料中添加葡萄糖淀粉酶和中性蛋白酶,结果表明,37和67日龄丝毛乌骨鸡的小肠胰蛋白酶、总蛋白水解酶活性明显提高,但对内源性 α -淀粉酶和脂肪酶活性无显著影响。杨全明^[27]证实了在断奶仔猪料中添加淀粉酶和蛋白酶,对仔猪小肠肠道中淀粉酶、蛋白酶的活性没有影响,但总蛋白酶活性提高。

3 展望

随着饲料工业及养殖业的发展,饲料资源短缺的问题也日渐突出,而玉米作为动物主要的能量来源,需求量持续增大,进口量大幅增加,其价格从2010年上半年上升态势迅猛。淀粉酶制剂的添加

可提高谷物类原料的利用率,改善动物生产性能等点。但由于动物自身能产生少量的淀粉酶,使得人们忽视了对淀粉酶的添加利用。再者,几种淀粉类酶制剂组合使用在现在饲料中的研究也越来越多,也是淀粉类酶制剂在饲料工业中应用发展的一个方向。淀粉酶制剂在饲料中的使用仍然处于发展阶段,对淀粉酶的研究内容在不断扩大,如淀粉酶与其他酶制剂的协同关系、对于动物内环境的影响,以及最经济及最有效的添加量等方面。总之,淀粉酶类酶制剂发展有着广阔的前景。

参考文献

- [1] Takeda Y, Hizukuri S, Juliano B O. Purification and structure of amylase from rice starch [J]. Carbohydrate Research, 1986, 148(22): 299-308.
- [2] 刘亚伟. 玉米淀粉生产及转化技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 159-169.
- [3] Englyst H N, Kingman S M, Cummings J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions [J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1992, 46(suppl 2): 33-50.
- [4] Brown I. Complex carbohydrates resistant starch [J]. Nutrition Reviews, 1996, 54(11): 115-119.
- [5] Patil A R, Murray S M, Hussein H S, et al. Quantification of starch fractions in selected starchy feed ingredients [J]. Animal Science, 1988, 76(suppl.): 168.
- [6] Rogel A M, Armison E F, Bryden W L, et al. The digestion of wheat starch in broiler chickens [J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1987, 38: 639-649.
- [7] Zobel H F. Molecular to granules; A comprehensive starch review [J]. Starch, 1988, 40(2): 44-50.
- [8] Regmi P R, Metzler-Zebeli B U, Gänzle M, et al. Starch with high amylose content and low in vitro digestibility increases intestinal nutrient flow and microbial fermentation and selectively promotes bifidobacteria in pigs [J]. Journal of Nutrition, 2011, 141(7): 1273-1280.
- [9] Zhou Z, Wan H F, Li Y. The influence of the amylopectin/amylose ratio in samples of corn on the true metabolizable energy value for ducks [J]. Animal Feed Science and Technology, 2010, 157: 99-103.
- [10] 戴求仲, 刘绍伟, 李湘, 等. 饲料直/支链淀粉比对黄羽肉鸡血液生化指标和后肠微生物菌群的影响 [J]. 动物营养学报, 2010, 22(4): 904-910.
- [11] Weuding R E, Veldman W A G, Veen P J, et al. Starch digestion rate in the small intestine of broiler chickens

- differs between feed stuffs [J]. *Journal of Nutrition*, 2001, 131: 2327-2335.
- [12] 胡友军, 周安国, 杨风, 等. 糊化淀粉对断奶仔猪消化率和血糖水平的影响 [J]. *动物营养学报*, 2003, 15(2): 33-35.
- [13] Hale W H. Influence of processing on the utilization of grains (starch) by ruminants [J]. *Journal of Animal Science*, 1973, 37(4): 1075-1080.
- [14] Muir J G, Birkett A, Brown I, *et al.* Food processing and maize variety affects amounts of starch escaping digestion in the small intestine [J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1995, 61: 82-89.
- [15] Tricarico J M, Johnston J D, Dawson K A. Dietary supplementation of ruminant diets with an *Aspergillus oryzae* α -amylase [J]. *Animal Science*, 2007, 85: 802-811.
- [16] Carre B, Escartin R, Melcion J P, *et al.* Effect of pelleting and associations with maize or wheat on the nutritive value of smooth pea (*Pisum sativum*) seeds in adult cockerels [J]. *British Poultry Science*, 1987, 28(2): 219-29.
- [17] 郑惠平. 饲料工业酶技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 58.
- [18] Gracia M I, Aranibar M J, Lazaro R, *et al.* Alpha-amylase supplementation of broiler diets based on corn [J]. *Poultry Science*, 2003, 82(3): 436-442.
- [19] 蒋正宇, 周岩民, 王恬, 等. 外源 α -淀粉酶对肉鸡生产性能的影响 [J]. *家畜生态学报*, 2007, 28(4): 13-16.
- [20] Pavlovic M, Resanovic R, Markovic R, *et al.* Effect of diet with normal or reduced energy and alpha-amylase supplementation on growth in broilers [A]. In: Slovenia. 19 International Science Symposium on Nutrition of Domestic Animals "Zdravec-Erjavac Days" [C]. Slovenia: Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije, Murska sobota, 2010: 205-209.
- [21] Onderci M, Sahin N, Sahin K, *et al.* Efficacy of supplementation of α -amylase-producing bacterial culture on the performance, nutrient use, and gut morphology of broiler chickens fed a corn-based diet [J]. *Poultry Science*, 2006, 85(3): 505-510.
- [22] 金立志. 饲用酶制剂应用与研究现状及未来发展 [J]. *饲料广角*, 2002, 16: 5-11.
- [23] 刘庆华, 徐秋良, 李梦云, 等. 添加淀粉酶与复合酶对蛋种鸡生产性能及养分利用率的影响 [J]. *西北农林科技大学学报*, 2010, 38(8): 15-20.
- [24] Klingerman C M, Hu W, McDonell E E, *et al.* An evaluation of exogenous enzymes with amylolytic activity for dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2009, 92(3): 1050-1059.
- [25] Owsley W F, Orr D E, Tribble L F. Effects of age and diet on the development of the pancreas and synthesis and secretion of pancreatic enzyme in the young pig [J]. *Animal Science*, 1986, 63: 497-504.
- [26] 奚刚, 许梓荣, 钱利纯, 等. 添加外源酶对猪、鸡内源酶活性的影响 [J]. *中国兽医学报*, 1999, 19(3): 286-289.
- [27] 杨全明. 仔猪消化道酶和组织器官生长发育规律的研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 1999: 34-55.

Nutrition mechanism and application in animal feeds of amylase

JIANG Su-su¹, DUAN Hong-wei², YU Feng¹

(1. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China;

2. Guangzhou Vista Biotech Company, Guangzhou 510663, China)

Abstract: Starch is one of the major nutrients in animal feeds and plays an important role in animal growth. Amylase, as a bio-catalyzer to depredate starch, can improve utilization efficiency of grain starch and increase animal production. The research on applications of amylase in grain processing has great significance, but there was a lack of information in feed processing and animal nutrition. In this paper, the classification and current application of amylase were reviewed, and the development of amylase on animal production was also discussed.

Key words: starch; amylase; application

Corresponding author: YU Feng E-mail: fy_applon@hotmail.com