

# 三相卧螺法生产小麦淀粉工艺中 轻相液蛋白质的营养学评价

马晓军 熊建\*

(江南大学食品学院 江苏无锡 214122)

**摘要:** 将小麦面粉和谷朊粉中蛋白质的营养进行比较,评价了三相卧螺法生产小麦淀粉过程中的副产物轻相液中蛋白质的营养价值。结果表明:轻相液中蛋白质的氨基酸评分和化学评分均高于小麦面粉和谷朊粉,其中必需氨基酸指数(EAAI)、生物价(BV)、氨基酸比值系数分(SRCAA)、体外蛋白质消化率(IVPD)、蛋白质的效率比(PER)以及蛋白质消化率校正的氨基酸评分(PDCASS)分别为0.95、92.06、73.73、85.4%、1.89和0.43。同时,利用模糊识别法计算得到轻相液中蛋白质的贴近度为0.85,高于小麦面粉和谷朊粉。因此,轻相液中的蛋白质优于小麦面粉和谷朊粉中的蛋白质。

**关键词:** 三相卧螺法 小麦面粉 轻相液 蛋白质 营养评价

## Nutrition evaluation of protein in light liquid phase produced during the process of wheat starch production by decanter centrifuge

MA Xiao-jun, XIONG Jian\*

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** The nutritive value of protein in the light liquid phase, the by-product in production of wheat starch by decanter centrifuge was compared with wheat flour and gluten. The results showed that amino acid score and chemical score of protein in light liquid phase were higher than wheat flour and gluten; while the essential amino acid index (EAAI), biological value (BV), score of ratio coefficient of amino acid (SRCAA), in-vitro protein digestibility (IVPD), protein efficiency ratio (PER) and Protein digestibility corrected amino acid scoring (PDCASS) were: 0.95, 92.06, 73.73, 85.4%, 1.89 and 0.43 respectively. Moreover, the proximal degree of the protein in the light phase calculated by Fuzzy identification mode was 0.85, which was higher than wheat flour and gluten. Therefore, light liquid phase was superior than that in wheat flour and wheat gluten.

**Key words:** decanter centrifuge; wheat flour; light liquid phase; protein; nutrition evaluation

中图分类号: TS231

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2011)09-0083-04

小麦是我国三大粮食作物之一,2010年我国小麦产量达到了1.13亿t。面粉是小麦加工业中的主要产品,其主要用于制作食品和生产小麦淀粉以及进一步的深加工。目前,小麦淀粉的传统生产工艺主要有以下几种:马丁法、旋流法、三相卧螺法等<sup>[1]</sup>。三相卧螺法是目前最先进的小麦淀粉生产方法,在欧美被大量采用,但在国内仅个别大型集团公司采用。与传统的马丁法相比,三相卧螺法用水量小、对环境的污染小,是小麦淀粉生产的发展趋势。三相卧螺法是将面粉加水调成面浆,面浆经三相卧螺机分离成三种物料:重相为A淀粉及纤维、中相为B淀粉与谷朊,再进一步经某工序分离纯化得到小麦B淀粉和谷朊粉。轻相液是此工艺加工过程中的副产

物,约含8%的固形物。轻相液为面粉中的可溶性成分及小颗粒淀粉等<sup>[2]</sup>,其可溶性成分如面粉中可溶性蛋白、戊聚糖、可溶性淀粉及水溶性维生素等。如果将其作为废弃污水处理,不仅增加投资和运行成本,也会造成资源浪费<sup>[3-4]</sup>,但关于该轻相液的资源化利用的研究未见报道。国外是将其混于麸皮经烘干加工制作成饲料,如何利用好该轻相液是三相卧螺工艺需要完善的一个重大问题。轻相液固形物中约含19.02%的蛋白质,要将此轻相液资源化利用,必须对其中的蛋白质进行功能性和营养学评价,为该轻相液资源化利用提供理论依据,从而进一步提高面粉深加工的技术水平。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料与仪器

小麦面粉、谷朊粉、轻相液 莲花味精股份有限

收稿日期:2010-09-06 \* 通讯联系人

作者简介:马晓军(1965-),男,副教授,研究方向:谷物化学。

公司,其中轻相液冷冻干燥后得到粉末状原料,即轻相液粉;硫酸、盐酸、氢氧化钠、无水乙醚、亚硫酸钠等均为分析纯;胰蛋白酶 4000U/g。

SHZ-B 水浴恒温振荡器, METTLER TOLEDO 分析天平, DELTA320pH 计, HYP-1020 消化炉, 凯氏定氮仪, ACPHAI-4 冷冻干燥机, HH-S24 数显恒温, 氨基酸自动分析仪 HP1100, 马弗炉, LXJ-IIB 低速自动平衡离心机。

## 1.2 实验方法

1.2.1 轻相液固形物的基本组成成分的测定 粗蛋白: GB5009.5-2010; 粗脂肪: GB/T14772-1993; 淀粉: GB/T 5514-2008; 灰分: GB5009.4-2010; 戊聚糖: 参照文献 [5-6]。

1.2.2 轻相液中蛋白质的分级及其含量的测定 Osborn 蛋白分类方法, 将蛋白质分为清蛋白、球蛋白、谷蛋白和醇溶蛋白。采用肖志刚等<sup>[7]</sup>的方法测定各种分离蛋白的含量, 与小麦面粉中各分离蛋白作对比分析。

1.2.3 轻相液中蛋白质氨基酸的组成成分分析 采用 Lan X H 等<sup>[8]</sup>的方法测定各种氨基酸的含量。

1.2.4 轻相液中蛋白质的营养价值 蛋白质营养价值评价方法有生物学法和非生物学法。非生物学法即通过对蛋白质氨基酸评分来评价受试蛋白质的营养价值。

1.2.4.1 评价指标 氨基酸评分 (AAS)、化学评分 (CS)、必需氨基酸指数 (EAAI)、生物价 (BV)、营养指数 (BI) 和氨基酸比值系数分 (SRCAA) 参考彭志华<sup>[9]</sup>等提出的计算方法。

1.2.4.2 模糊识别法<sup>[10]</sup> 按照兰氏距离法分析待测蛋白质  $u_i$  与全鸡蛋蛋白质  $a$  的贴近程度  $\mu(a, u_i)$ , 计算公式为:

$$\mu(a, u_i) = 1 - 0.09 \sum_{k=1}^n \frac{|a_k - u_{ik}|}{a_k + u_{ik}}$$

其中:  $u_{ik}$  - 待测蛋白第  $k$  种必需氨基酸含量;  $a_k$  - 鸡蛋蛋白第  $k$  种必需氨基酸含量。

1.2.5 蛋白质的效率比 (PER)<sup>[11]</sup> 蛋白质的效率比 (PER) 可以用 Alsemeyer 提出的三个方程式来预测。方程式如下:

$$PER(1) = -0.684 + 0.456(Leu) - 0.047(Pro)$$

$$PER(2) = -0.468 + 0.454(Leu) - 0.105(Tyr)$$

$$PER(3) = -1.816 + 0.435(Met) + 0.780(Leu) + 0.211(His) - 0.944(Tyr)$$

其中: 公式中的斜体氨基酸缩写代表该氨基酸在总蛋白质含量的百分比。

1.2.6 体外蛋白质消化率 (IVPD) 以及蛋白质消化率校正的氨基酸评分 (PDCAAS)

1.2.6.1 轻相液粉中蛋白质的体外消化率 (IVPD)<sup>[12-14]</sup> 按照 Hsu 和 Bilgic N 等的改进方法测定。将蛋白质浓度为 6.25mg/mL 的样品悬浮液放置在 4℃ 下搅拌 1.5h, 使悬浮液中的蛋白质充分混匀。接着取 50mL 悬浮液放置在 37℃ 的恒温水浴振荡器中保温 10min, 然后用 0.01mol/L 的 NaOH 调节悬浮液 pH 到 8.0。称取 320mg 的胰蛋白酶, 在冰浴下溶

解于 50mL 的去离子水中, 并用 0.01mol/L 的 NaOH 调节 pH 到 8.0。取 5mL 酶液加入上述悬浮液中, 在 37℃ 下保持振荡。此时悬浮液 pH 不断下降, 在加酶 15s 后计时 10min, 记录 10min 后的 pH。样品蛋白质的消化率可以用下面的公式估算:

$$\eta = 210.464 - 18.1\alpha$$

其中:  $\eta$  - IVPD, %  $\alpha$  - 酶促反应 10min 后的 pH。

1.2.6.2 蛋白质的消化率校正的氨基酸评分 (PDCAAS) 蛋白质的消化率校正按氨基酸评分 (PDCAAS) 依据 Azizah Abdul-Hamid<sup>[15]</sup> 提出的方法计算。其计算公式为:

PDCAAS = 未校正的氨基酸评分 × 蛋白质体外消化率

其中: PDCAAS 最低值作为待测蛋白质的消化率校正的氨基酸评分。

## 2 结果与分析

### 2.1 轻相液的固形物基本成分的分析

由表 1 的测定数据看出, 轻相液固形物中蛋白质占 19.02%, 主要是水溶性蛋白和混入轻相液中少量的面筋蛋白。三相卧螺机不能完全将三相分离开, 所以混入的面筋蛋白也作为轻相液的蛋白质组成。轻相液固形物中淀粉占 58.43%, 主要是小麦面粉中小颗粒的淀粉。轻相液固形物中脂肪含量很低, 约占 3.95%。灰分含量占 3.68%, 灰分主要包括矿质元素和无机盐等。水溶性戊聚糖都富集到轻相液中, 占干基的 14.92%。

表 1 轻相液的基本组成成分 (%)

基本成分 (干基)	灰分	粗蛋白	淀粉	脂肪	戊聚糖
含量	3.68	19.02	58.43	3.95	14.92

### 2.2 轻相液粉中各分级蛋白的含量分析

轻相液粉中分离蛋白的含量见图 1。由图 1 可以看出, 轻相液粉中的清蛋白、球蛋白和谷蛋白均高于小麦面粉。轻相液粉的蛋白质中清蛋白和谷蛋白含量较高, 分别为 26.71%、26.51%。而小麦面粉蛋白质中醇溶蛋白含量最高, 大约是轻相醇溶蛋白的 2.5 倍。轻相液粉是小麦面粉经水提离心得到的上层悬浮液, 而醇溶蛋白不溶于水, 在提取过程中醇溶蛋白大部分存在于中相, 轻相液粉中醇溶蛋白主要来源于混入的面筋蛋白。轻相液粉球蛋白是小麦面粉中球蛋白的 4.7 倍, 球蛋白溶于盐溶液, 轻相液中高浓度的有机质和盐溶液能使小麦面粉中大部分的球蛋白溶解。

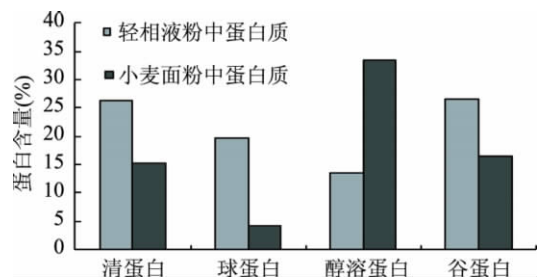


图 1 轻相液粉和小麦面粉分离蛋白的含量

### 2.3 轻相液粉中蛋白质的氨基酸组成分析

轻相液粉、谷朊粉和小麦面粉中蛋白质的氨基酸组成分析结果见表2,色氨酸(Trp)在酸解过程中被分解的未作分析。蛋白质的必需氨基酸与总氨基酸比值是评价蛋白的重要指标,一般认为营养价值较高的食物蛋白质不仅表现在必需氨基酸种类齐全,而且表现在必需氨基酸之间比例适宜,这样更有利于人体的吸收<sup>[16]</sup>。由表2可以看出,轻相中蛋白质的EAA/TAA(E/T)最高,为28.13%。因此轻相液粉中蛋白质的营养价值要高于谷朊粉和小麦面粉中的蛋白质。WHO建议<sup>[17]</sup>,高质量的蛋白质其E/T要在36%以上,三种分析成分的E/T均小于建议值,然而轻相液粉中的蛋白质相对于谷朊粉和小麦面粉中的蛋白质的E/T较高,接近36%。

表2 轻相液粉、谷朊粉和小麦面粉中蛋白质的氨基酸组成比较(mg/g蛋白)

氨基酸种类	轻相液粉	谷朊粉	小麦面粉
天冬氨酸(Asp)	57.29	29.91	36.70
谷氨酸(Glu)	291.61	304.18	293.10
丝氨酸(Ser)	51.94	43.49	43.89
组氨酸(His)▲	21.15	16.02	16.70
甘氨酸(Gly)	40.01	29.20	30.75
苏氨酸(Thr)*	32.20	23.20	26.95
精氨酸(Arg)▲	44.60	27.30	28.76
丙氨酸(Ala)	38.54	22.76	25.38
酪氨酸(Tyr)	26.09	23.71	20.42
胱氨酸(Cys)	17.10	13.18	11.90
缬氨酸(Val)*	44.60	33.81	36.20
蛋氨酸(Met)*	14.81	12.57	12.15
苯丙氨酸(Phe)*	49.30	41.53	41.66
异亮氨酸(Ile)*	30.67	27.47	27.77
亮氨酸(Leu)*	65.34	56.06	57.28
赖氨酸(Lys)*	27.26	14.02	16.61
脯氨酸(Pro)	86.37	100.30	93.24
色氨酸(Trp)*	-	-	-
总氨基酸含量(TAA)	171.21	251.44	114.14
必需氨基酸含量(EAA)	48.16	64.08	30.45
非必需氨基酸(NEAA)	123.00	187.35	83.70
EAA/TAA(%)	28.13	25.49	26.68
EAA/NEAA	0.39	0.34	0.36

注:\*为必需氨基酸,▲为半必需氨基酸。

2.4 轻相液粉中蛋白质的营养评价

从营养的角度来看,评价一种蛋白质的营养价值,关键在于其必需氨基酸的平衡程度。计算氨基酸评分和化学评分,可以在一定程度上反映该蛋白的必需氨基酸平衡程度。由表3可以得出,轻相液粉蛋白质(Lys)的氨基酸分和化学分最高,分别为50和0.39,其次是小麦面粉为30和0.24,然后是谷朊粉

表3 轻相液粉、谷朊粉和小麦面粉中蛋白质的氨基酸评分、化学评分

氨基酸种类	模式蛋白质氨基酸的含量		轻相液粉		谷朊粉		小麦面粉	
	FAO/WHO标准	全鸡蛋	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS
Thr	40	47	80	0.69	58	0.49	67	0.57
Lys	55	70	50	0.39	25	0.2	30	0.24
Met + Cys	35	57	91	0.56	74	0.45	69	0.42
Val	50	66	89	0.68	68	0.51	72	0.55
Ile	40	54	77	0.57	69	0.51	69	0.51
Leu	70	86	93	0.76	80	0.65	82	0.67
Phe + Tyr	60	93	126	0.81	109	0.7	103	0.67

为25和0.2。由此可见,轻相液粉中蛋白质氨基酸平衡性与小麦面粉和谷朊粉相比占优势。芳香族氨基酸(Phe + Tyr)的AAS和CS最高。轻相、谷朊粉和小麦面粉中蛋白质的第一限制性氨基酸都是Lys。人体必需的八种氨基酸中,轻相液粉的必需氨基酸含量均超过谷朊粉和小麦面粉,根据蛋白质互补法,可将轻相液粉与其他谷物食品、大豆搭配,取长补短,达到营养平衡。轻相液粉蛋白质第二、第三限制性氨基酸分别是Ile和Thr;谷朊粉中蛋白质的第二、第三限制性氨基酸分别是Thr和Val;小麦面粉中蛋白质的第二、第三限制性氨基酸则分别是Thr和Met + Cys。

2.5 轻相液粉必需氨基酸指数、生物价、营养指数、氨基酸比值系数分和贴适度

表4 轻相液粉、谷朊粉和小麦面粉的EAAI、BV、NI、SRCAA和μ(a, μ<sub>i</sub>)

样品	EAAI	BV	NI	SRCAA	μ(a, μ <sub>i</sub> )
轻相液粉	0.9519	92.06	17.35	73.73	0.85
谷朊粉	0.9228	88.89	28.34	63.77	0.78
小麦面粉	0.9312	89.80	12.97	69.05	0.79

用EAAI评价蛋白源时,当n=6~12,提出的实用评价标准为:EAAI > 0.95为优质蛋白源,0.85 < EAAI ≤ 0.95为良好蛋白源,0.75 ≤ EAAI ≤ 0.86为可用蛋白源,EAAI < 0.75为不适蛋白源<sup>[18]</sup>。EAAI越接近1,其营养价值越高。表4中轻相液粉EAAI > 0.95为优质蛋白源,而谷朊粉和小麦面粉EAAI均在0.85~0.95之间,为良好蛋白源。生物价考虑的是生物体蛋白的消化吸收率,轻相液粉蛋白的BV值高于谷朊粉和小麦面粉,说明轻相液粉中蛋白质的消化吸收率高于谷朊粉和小麦面粉。但轻相液粉蛋白质的NI值较低,这是由于轻相液粉中蛋白质含量较低的原因。

朱圣陶<sup>[19]</sup>认为,食物的氨基酸比值系数(RCAA)越分散,比值系数分(SRCAA)越小,蛋白质的营养价值越低。表4中轻相液粉中蛋白质的SRCAA均高于其它两种参照样品,轻相液粉中蛋白质营养价值较高。

模糊识别法采用全鸡蛋蛋白质为标准蛋白求贴适度,从氨基酸平衡理论观点出发,着重分析待评食物蛋白质中各种偏离标准蛋白全蛋模式和离散度,即样品整体的偏离程度,无论是低于或高于模式(标准)均在评价中给予考虑,因此是一种较为科学合理的非生物学评价方法。表4中轻相液粉的贴适度μ(a, μ<sub>i</sub>)高于小麦面粉和谷朊粉,其值接近1,它的营养价值接近全鸡蛋。

## 2.6 蛋白质的效率比( PER)、体外蛋白质的消化率( IVPD) 以及蛋白质消化率校正的氨基酸评分( PDCASS)

蛋白质的效率比( PER) 反映的是蛋白质在体内利用的程度, PER 越大其营养价值越高。由经验公式得出的 PER 见图 2。从图 2 中可以看出, 轻相液粉的 PER 总体高于谷朊粉和面粉。通常认为 PER 大于 2.0 时, 表明该蛋白质具有较高的营养价值。轻相液粉的 PER 接近 2, 高于谷朊粉和小麦面粉的 PER, 其营养价值也比较高。

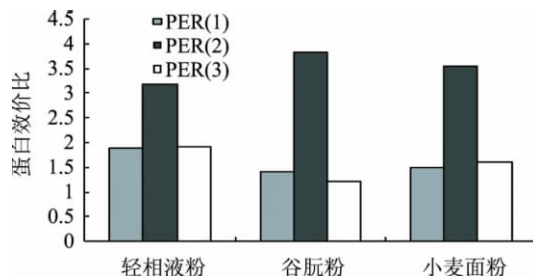


图 2 轻相、谷朊粉和小麦面粉的 PER

蛋白质的消化率也是考察蛋白质营养价值的一个重要指标。测定蛋白的消化率的方法有体内和体外方法, 体内方法需要进行动物实验, 这个过程耗时长且复杂, 一般不采用。体外消化法主要是在体外模拟蛋白质消化过程。Hsu 采用的是单一胰蛋白酶, 通过测定水解液 pH 来估测蛋白的消化率。三种样品蛋白质的消化率见表 5。由表 5 中的数据可以得出, 轻相液粉中蛋白质的消化率最高为 85.4%, 其次是面粉中的蛋白质为 84.7%, 谷朊粉中蛋白质的消化率最低为 77.8%。如果蛋白质不能被人体消化吸收, 其营养价值也会降低。轻相液粉中蛋白质的消化率高于其他两种蛋白质的消化率, 表明了副产物轻相液中的蛋白质消化吸收情况优于其它两种样品中的蛋白质。

表 5 轻相液粉、谷朊粉和小麦面粉的 IVPD 和 PDCASS

项目	轻相	谷朊粉	小麦面粉
IVPD (%)	85.40	77.80	84.70
PDCAAS	0.43	0.19	0.26

为了全面评价轻相液粉蛋白质的营养价值, 采用了 PDCAAS 指标见表 5。PDCAAS 值由体外消化率和氨基酸组成共同决定, 可以全面反映受试蛋白质的营养价值。表 5 中轻相液粉的 PDCAAS 最高为 0.43, 谷朊粉最低为 0.19, 小麦面粉居中为 0.26。由此可见, 轻相液粉中蛋白质的营养价值要高于谷朊粉和小麦面粉中蛋白质。

## 3 结论

本研究建立在分析蛋白质的氨基酸组成的基础上, 对轻相液蛋白质的营养价值进行综合评价。轻相液粉的 E/T 高于谷朊粉和小麦面粉的 E/T, 且其氨基酸评分和化学评分最高。由两种评分指标可以得出轻相液蛋白质的第一限制性氨基酸为赖氨酸。

轻相液粉中蛋白质的必需氨基酸指数、生物价和氨基酸比值系数、PER、IVPD 和 PDCAAS 为最高。通过模糊识别法计算样品中蛋白质与全鸡蛋蛋白质

的贴近程度, 轻相液蛋白质与全鸡蛋蛋白质的贴近度均高于谷朊粉和小麦面粉。综上所述, 轻相液蛋白质的营养价值要高于谷朊粉和小麦面粉中的蛋白质, 本文为轻相液的开发利用提供了理论支撑。

## 参考文献

- [1] 李银星. 小麦淀粉生产工艺与分离设备 [J]. 淀粉与淀粉糖, 1993(1): 28-30.
- [2] 袁超, 刘亚伟, 杨宝, 等. 小麦淀粉与谷朊粉生产 [J]. 西部粮油科技, 2003(1): 34-36.
- [3] 黄继红, 田晓燕. 小麦淀粉生产味精过程副产品应用探索 [J]. 发酵科技通讯, 2001, 30(3): 16-17.
- [4] 周阳, 刘芳, 吕大鹏. 小麦淀粉废水处理综述 [J]. 发酵科技通讯, 2003, 32(1): 31-32.
- [5] 任大鹏, 马晓军, 姚惠源. 谷朊粉废水提取物在肉制品中的应用 [J]. 无锡轻工大学学报, 2004, 23(6): 77-80.
- [6] 李昌文, 欧阳韶晖, 孙小凡, 等. 小麦面粉中戊聚糖的化学分析测定法 [J]. 西部粮油科技, 2003(4): 64-65.
- [7] 肖志刚, 段玉敏. 玉米胚芽分离蛋白提取工艺研究 [J]. 食品工业科技, 2008, 29(3): 168-169.
- [8] Lan X H, Liu P, Xia S Q, et al. Temperature effect on the non-volatile compounds of Maillard reaction products derived from xylose- soybean peptide system: Further insights into thermal degradation and cross-linking [J]. Food Chemistry, 2010, 120: 967-972.
- [9] 彭志华, 龚敏芳. 蛋白质的营养评价及其在食用菌营养评价上的应用 [J]. 食用菌学报, 1996, 3(3): 56-64.
- [10] Etienne E, Kereru, 黄崇福, 阮达. 模糊集理论与近似推理 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.
- [11] Grazziotin A, Pimentel F A, de Jong E V, et al. Nutritional improvement of feather protein by treatment with microbial keratinase [J]. Animal Feed Science and Technology, 2006, 26: 135-144.
- [12] 贾俊强, 马海乐, 骆琳, 等. 脱脂小麦胚芽蛋白分类及其氨基酸组成分析 [J]. 中国粮油学报, 2009, 24(2): 40-44.
- [13] Hsu H W, Vavak L D, Satterlee L D, et al. A multienzyme technique for estimating protein digestibility [J]. Journal of Food Science, 1977, 42: 1269-1273.
- [14] Bilgioli N, Elsan A, NurHerken E, et al. Effect of wheat germ bran addition on the chemical, nutritional and sensory quality of tarhana a fermented wheat flour-yoghurt product [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77: 680-686.
- [15] El N S, Kavas A. Determination of protein quality of rainbow trout (*Salmo irideus*) by in vitro protein digestibility corrected amino acid score (PDCAAS) [J]. Food Chemistry, 1996, 55(3): 221-223.
- [16] 洪鹏志, 杨萍, 刘书成, 等. 军曹鱼鱼肉的脂肪酸组成及鱼肉酶解蛋白的营养评价 [J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(8): 31-33.
- [17] FAO. Energy and protein requirements [R]. FAO/WHO Tech Rep Ser: 522 Geneva, 1973: 52-54.
- [18] 冯东勋. 必需氨基酸指数 (EAAI) 在饲料中的应用 [J]. 饲料工业, 1997, 18(3): 21-22.
- [19] 朱圣陶, 吴坤. 蛋白质营养价值评价-氨基酸比值系数法 [J]. 营养学报, 1988, 10(2): 187-190.