麸皮及黑曲对玉米醋减肥降血脂作用的影响

李 博¹,李志西¹,魏 瑛²,张学良¹,
毋锐琴¹,樊艳丽¹,布丽君¹

(1 西北农林科技大学 食品科学与工程学院,陕西 杨凌 712100;2 江南大学 食品学院,江苏 无锡 214122)

【摘要】【目的】研究在发酵过程中添加麸皮和黑曲,对玉米醋减肥和降血脂作用的影响,为玉米资源的开发利用及玉米醋功能性的开发研究提供理论依据。【方法】利用营养饲料建立小鼠营养肥胖模型和高血脂模型,设普通对照组、营养对照组和 3 个试验组,进行小鼠血清总胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白、生殖器周围脂肪质量的对比分析,研究添加麸皮和黑曲对玉米醋减肥和降血脂作用的影响。【结果】各种醋对小鼠的生长发育无不良影响,其减肥作用的强弱顺序依次为:麸皮玉米醋>麸皮黑曲玉米醋>玉米醋,对血清总胆固醇的降低作用强弱顺序依次为:麸皮黑曲玉米醋>麸皮玉米醋>玉米醋,对甘油三酯的降低作用强弱顺序依次为:麸皮玉米醋>麸皮黑曲玉米醋>玉米醋,对血清高密度脂蛋白的降低作用顺序依次为:麸皮黑曲玉米醋>麸皮玉米醋>玉米醋,降血脂作用的强弱顺序依次为麸皮黑曲玉米醋>麸皮玉米醋>玉米醋。【结论】添加麸皮和黑曲能提高发酵玉米醋的减肥作用,降低血清总胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白,提高动物抗动脉硬化症的能力。

【关键词】 玉米醋;麸皮;黑曲;减肥;降血脂

【中图分类号】 TS264.2⁺2

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)02-0194-05

Study on the effects of brans and aspergillus niger about corn vinegar on reducing obesity and blood lipids in rat

LI Bo¹, LI Zhi-xi¹, Wei Ying², ZHANG Xue-liang¹,
WU Rui-qin¹, FAN Yan-li¹, BU Li-jun¹

(1 College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 College of Food, Southern Yangtze University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: 【Objective】 The research studied the effects of corn vinegar on reducing obesity and blood lipids. 【Method】 A rat high blood lipids model was set up by using high fat nutritive feed and high blood lipids feed. In the experiment, three treatments were set for research including normal feeding (fed with common diet), nutritive feeding (fed with common diet and nutritive diet) and vinegar feeding (fed with common diet, nutritive diet and four different vinegar). The total serum cholesterin, triglyceride, serum high density lipoprotein, total weight of fat around rat genitalia and arteriosclerosis exponential were analysed with corn vinegar as contrast. 【Result】 The result showed: all the rats grew normally during the rat feeding, the total fat weight around the genitals and fat coefficient of the nutritive control group increased apparently compared with the normal control group, with the trend of cholesterol, triglyceride and arteriosclerosis index increasing. It showed that the rat Nutritive obesity model and the rat high blood lipids model were all set up successfully. In the test group, the total serum cholesterin, triglyceride, total weight of fat

* [收稿日期] 2008-03-17

[作者简介] 李 博(1981—),男,新疆昌吉人,硕士,主要从事发酵技术研究。E-mail: libocomon@163.com

[通信作者] 李志西(1958—),男,陕西临潼人,教授,博士生导师,主要从事谷物功能食品和发酵技术创新研究。

E-mail: lizhixi@nwsuaf.edu.cn

around rat genitalia, serum height density lipoprotein and arteriosclerosis exponential tanded to reduce, Brans and aspergillus niger corn vinegar, brans corn vinegar all had better results than corn vinegar. 【Conclusion】 It proved that three vinegar treatments had the function of reducing obesity and blood lipids of rat and the brans and aspergillus niger vinegar was better than normal corn vinegar.

Key words: core-vinegar; brans; aspergillus niger; reducing obesity; reducing blood lipids

随着人们生活水平的提高,过多地摄入高脂食物会引起肥胖,进而导致高血压、高血脂、糖尿病等疾病的发生,对人们的身心健康带来严重影响^[1]。市面上出现的各种减肥、降脂药物都会引起身体的不良反应^[2]。我国是玉米生产大国,玉米种植面积广、产量高,年产量居世界第 2 位^[3],总产量已多年突破 1.0 亿 t^[4],丰富的玉米资源为其深加工提供了广阔的空间。而采用玉米为原料酿造的食醋,颜色澄清,口感纯正,且富含玉米原料中的多种有益成分。近年来对果醋功能性的研究报道较多^[5-6],有关麸皮和黑曲对玉米醋抗氧化性的影响也有报道^[7],但对玉米醋以及添加麸皮和黑曲后,玉米醋的减肥降血脂作用的研究还未见报道。本研究以玉米醋为对照,对麸皮玉米醋、麸皮黑曲玉米醋的减肥及降血脂作用进行了对比分析,完善了麸皮和黑曲对发酵玉米醋的功能性影响研究,以期对玉米资源的开发利用及对玉米醋的功能性开发研究提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

玉米醋:以玉米粉为原料,经过液化、糖化、酒精发酵和自回淋发酵工艺^[8]酿制,酸度 ≥ 50 g/kg。

麸皮玉米醋:玉米粉经液化、糖化和酒精发酵后加麸皮作填充物,采用固态发酵工艺酿制,酸度 ≥ 50 g/kg。

麸皮黑曲玉米醋:以玉米粉、麸皮和黑曲为原料,采用前液后固发酵工艺酿制,酸度 ≥ 50 g/kg。

试验动物:昆明二级雄性小鼠,体质量 (20 ± 2) g,由第四军医大学动物实验中心提供。

基础饲料:由第四军医大学提供,适合小鼠的正常生长。

高血脂营养饲料:将蛋黄粉 10 g,猪油 5 g,胆盐 0.5 g 和基础饲料 85 g 混合均匀,制成高血脂营养饲料^[9]。

高脂肪营养饲料:将鸡蛋 1 枚,奶粉 10 g,猪油 10 g,浓鱼肝油 10 滴,基础饲料 90 g 混和均匀,制成高脂肪营养饲料。

试剂及仪器:总胆固醇测定试剂盒、甘油三酯测

定试剂盒、高密度脂蛋白测定试剂盒,均购自上海荣盛生物技术有限公司;UV-721 紫外分光光度计,购自日本津岛。

1.2 试验方法

1.2.1 分 组 将 120 只小鼠随机分为 2 个大组,一个大组用于减肥试验,一个大组用于降血脂试验。每个大组又将小鼠随机分为普通对照组、营养对照组、玉米醋试验组、麸皮玉米醋试验组、麸皮黑曲玉米醋试验组 5 个小组,每个小组 12 只。

1.2.2 减肥模型和降血脂模型的建立 营养肥胖模型的建立:一个大组用于营养肥胖模型的建立。该组的营养对照小组和试验小组在供给基础饲料的同时,定时、定量饲喂高脂肪营养饲料,相应的普通对照小组只饲喂基础饲料,连续喂养 30 d,建立小鼠的营养肥胖模型。

高血脂模型的建立:另一个大组用于高血脂模型的建立。该组的营养对照小组和试验小组在供给基础饲料的同时,定时、定量饲喂高血脂营养饲料,相应的普通对照小组饲喂基础饲料,连续喂养 30 d,建立小鼠的高血脂模型。

1.2.3 饲养管理 饲喂方法:普通对照组饲喂基础饲料,模型对照组和试验组定时、定量饲喂高脂营养饲料的同时,3 个试验组采用人工灌喂法,每天定时分别给予 0.3 mL/(只·d)的麸皮玉米醋、麸皮黑曲玉米醋和玉米醋,灌喂时醋的酸度统一调整为 20 g/kg(以醋酸计),普通对照组和营养对照组以灌喂法给予等剂量的蒸馏水,小鼠均可自由饮水,连续喂养 30 d^[10]。

饲养条件:动物房通风、光照良好,温度 (25 ± 3) °C,相对湿度 60%~70%;试验前用基础饲料进行 1 周环境适应喂养。

1.2.4 添加麸皮、黑曲对玉米醋减肥作用的影响试验 以人工建立的营养肥胖模型大组小鼠为试验对象,分为普通对照组、营养对照组、玉米醋试验组、麸皮玉米醋试验组和麸皮黑曲玉米醋试验组,通过上述饲喂方法喂养 30 d,测定各小组小鼠生殖器周围的脂肪质量和脂肪系数,通过对比研究添加麸皮、黑曲对玉米醋减肥作用的影响。

1.2.5 添加麸皮、黑曲对玉米醋降血脂作用的影响 试验以人工建立的高血脂模型大鼠小鼠为试验对象,分为普通对照组、营养对照组、玉米醋试验组、麸皮玉米醋试验组和麸皮黑曲玉米醋试验组,通过上述饲喂方法喂养 30 d,测定各小组小鼠的血清生化指标,通过对比研究添加麸皮、黑曲对玉米醋降血脂作用的影响。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 脂肪系数的测定 小鼠喂养至 30 d,测定体质量后处死,称取生殖器周围的脂肪质量,按下式计算脂肪系数:

$$\text{脂肪系数}/\% = (\text{脂肪质量}/\text{小鼠体质量}) \times 100\% \quad (1)$$

1.3.2 血清生化指标的测定 小鼠喂养至 30 d 摘眼球取血,取血前禁食 16 h,血液静置 30 min 后,3 000 r/min 离心 15 min,取上清液得血清^[11-12],按照酶法试剂盒说明书的测定条件和程序,测定血清总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)和高密度脂蛋白(HDL-C),按下式计算动脉硬化指数:

$$\text{动脉硬化指数} = (\text{TC} - \text{HDL-C}) / \text{HDL-C} \quad (2)$$

1.4 数据统计处理

用 Excel 2003 软件对所测数据进行处理,试验结果以“平均值±标准差($\bar{x} \pm s$)”表示。

2 结果与分析

2.1 小鼠生长状况的观察

试验期间,普通对照组、营养对照组和试验组小鼠的毛质洁白并有光泽,活动行为未见异常,无稀便、溏便、死亡等现象,生长发育正常,说明麸皮玉米醋、麸皮黑曲玉米醋和玉米醋对小鼠的生长发育无不良影响。

2.2 添加麸皮、黑曲对玉米醋减肥作用的影响

由表 1 可以看出,营养对照组小鼠生殖器周围的脂肪质量和脂肪系数均显著高于普通对照组($P < 0.05$),说明营养肥胖模型的建模成功。小鼠生殖器周围脂肪质量和脂肪系数反映了小鼠的肥胖状况,此值越低,说明减肥效果越好。

表 1 添加麸皮、黑曲对玉米醋减肥作用的影响($n=12, \bar{x} \pm s$)

Table 1 The effects of vinegar on total weight of fat around rat genitalia and fatty coefficient of rat ($n=12, \bar{x} \pm s$)

分组 Treatment	脂肪质量/g Total weight of fat	脂肪系数/% Fatty coefficient
普通对照组 Normal feeding group	0.679±0.31 a	1.71±0.008 a
营养对照组 Nutritive feeding group	1.960±0.633 b	3.96±0.009 b
玉米醋试验组 Corn vinegar feeding group	1.741±0.771 b	3.50±0.012 b
麸皮玉米醋试验组 Corn and brans vinegar feeding group	1.071±0.438 c	2.70±0.009 c
麸皮黑曲玉米醋试验组 Corn and brans and aspergillus nigervinegar feeding group	1.251±0.260 c	2.91±0.005 c

注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同。

Note: Different letters are significant difference at $P < 0.05$. The following table is the same.

由表 1 可见,在同样饲养条件下,麸皮玉米醋、麸皮黑曲玉米醋、玉米醋试验组小鼠生殖器周围的脂肪质量和脂肪系数均明显低于营养对照组,说明不同添加物发酵的玉米醋均有减肥作用。由小鼠生殖器周围脂肪质量和脂肪系数的变化情况可以看出,各种醋减肥作用的强弱顺序依次为麸皮玉米醋>麸皮黑曲玉米醋>玉米醋,说明添加麸皮及黑曲发酵玉米醋的减肥作用优于玉米醋,从而证明添加麸皮和黑曲能增强玉米发酵醋的减肥作用。

2.3 添加麸皮、黑曲对玉米醋降血脂作用的影响

由表 2 可以看出,营养对照组小鼠血清中总胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白以及动脉硬化指数均显著高于普通对照组($P < 0.05$),说明本试验高血脂模型创建成功。

各种醋对血清总胆固醇的降低作用依次为麸皮

黑曲玉米醋>麸皮玉米醋>玉米醋,说明发酵过程中添加麸皮黑曲混合物,对血清中总胆固醇的降低作用强于只添加麸皮的玉米醋和玉米醋。

各种醋对甘油三酯的降低作用强弱顺序依次为麸皮玉米醋>麸皮黑曲玉米醋>玉米醋,说明玉米醋发酵过程中只添加麸皮,对甘油三酯的降低作用强于添加麸皮黑曲的玉米醋;麸皮玉米醋试验组甘油三酯的水平甚至低于普通对照组,其原因还有待进一步研究。

各种醋对血清高密度脂蛋白的降低作用顺序依次为麸皮黑曲玉米醋>麸皮玉米醋>玉米醋,玉米醋发酵过程中添加麸皮黑曲后,对血清高密度脂蛋白的降低作用强于只添加麸皮的玉米醋和玉米醋。

动脉硬化指数反映了动物患动脉硬化的危险性强弱。由表 2 可以看出,在同样饲料条件下,玉米

醋、麸皮玉米醋和麸皮黑曲玉米醋试验组,小鼠血清总胆固醇和甘油三酯水平均显著低于营养对照组($P<0.05$),动脉硬化指数显著低于营养对照组和普通对照组($P<0.05$),说明玉米醋具有降血脂功能。各种醋降血脂作用效果的强弱次序依次为:麸皮黑曲玉米醋>麸皮玉米醋>玉米醋,说明添加麸

皮及黑曲发酵玉米醋的降血脂功能优于玉米醋。证明添加麸皮和黑曲发酵的玉米醋,能增强玉米醋的降血脂功能。动脉硬化指数高低与心脑血管疾病具有一定关联,因此在发酵过程中添加麸皮和黑曲,有助于预防冠心病、脑血栓等心脑血管疾病的发生。

表2 添加麸皮、黑曲对玉米醋降血脂作用的影响($n=12, \bar{x} \pm s$)

Table 2 Effects of vinegar on reducing blood lipids of rat ($n=12, \bar{x} \pm s$)

分组 Treatment	总胆固醇/ (mmol·L ⁻¹) Total serum cholesterin	甘油三酯/ (mmol·L ⁻¹) Triglyceride	高密度脂蛋白/ (mmol·L ⁻¹) Serum high density lipoprotein	动脉硬化指数 Arteriosclerosis exponential
普通对照组 Normal feeding	3.225±0.710 a	2.629±0.929 a	1.661±0.275 a	0.903 a
营养对照组 Nutritive feeding group	4.260±0.693 b	3.312±1.729 b	2.239±0.301 b	0.942 a
玉米醋试验组 Corn vinegar feeding group	4.140±0.934 b	2.798±1.734 a	2.210±0.260 b	0.873 a
麸皮玉米醋试验组 Corn and brans vinegar feeding group	3.757±0.774 a	1.520±0.987 c	2.065±0.466 b	0.819 b
麸皮黑曲玉米醋试验组 Corn and brans and aspergillus niger vinegar feeding group	2.886±1.108 c	2.295±1.088 a	1.685±0.522 a	0.713 c

3 讨论

机体中过剩的能量常以脂肪形式存在,脂肪组织增多易导致肥胖,危害机体正常代谢和生物体健康^[13]。体脂、血清中甘油三酯及胆固醇含量是减肥功能常用的评价指标^[14]。心脑血管发病率和血清胆固醇值呈线形正相关,心脏病发病率随胆固醇值的增高而增加^[15]。动脉粥样硬化的产生和发展,与血液中血清总胆固醇(TC)水平等有密切关系,低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、极低密度脂蛋白胆固醇(VLDL-C)是影响动脉粥样硬化发生的重要因素,其浓度与冠心病发病率呈正相关^[16]。而血清甘油三酯和胆固醇含量是脂类代谢的重要指标,也是判断机体健康状况的指标之一^[9]。本试验结果表明,灌胃的试验组小鼠血清中总胆固醇和甘油三酯含量均较营养对照组低,说明不同玉米醋均具有减肥降血脂的作用,在玉米醋发酵过程中添加麸皮和黑曲能增强玉米醋的减肥降血脂作用。其可能的原因是麸皮中含有多种矿物质、多糖、维生素、可溶性纤维及酶类^[17],黑曲发酵时可产生阿魏酸酯酶、阿拉伯木聚糖酶、多肽等多种保健性物质^[18],在这些酶和物质的共同作用下,提高了玉米发酵醋的减肥降血脂功能,具体的作用机理还有待进一步深入研究。

Xu F, Zhao C, Zhang X H, et al. Study on the effect of spirulina capsule on the weight of nutritional pimeiosis rats [J]. Yunnan Journal of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica, 2005, 26(6): 34-36. (in Chinese)

- [2] 刘洁, 何光星, 艾丽, 等. 新的康对肥胖大鼠的减肥作用 [J]. 现代医药卫生, 2006(3): 332-333.
- Liu J, He G X, Ai L, et al. Reducing obese role of xindikang on fat mice [J]. Modern Medicine & Health, 2006(3): 332-333. (in Chinese)
- [3] 卢艳杰, 龚院生, 周展明, 等. 玉米黄色素抗氧化特性的初步探讨 [J]. 郑州工程学院学报, 2001, 22(1): 57-59.
- Lu Y J, Gong Y S, Zhou Z M, et al. Study on the antioxidant activity of maize yellow pigment [J]. Journal of Zhengzhou Grain College, 2001, 22(1): 57-59. (in Chinese)
- [4] 许钢. 玉米不同部位提取物的抗氧化性能比较 [J]. 食品与发酵工业, 2004(4): 88-92.
- Xu G. Comparison anti-oxidation activity of extracts from different parts of corn [J]. Food and Fermentation Industries, 2004(4): 88-92. (in Chinese)
- [5] 樊艳丽, 刘耀玺, 李志西, 等. 仁用杏果醋的抗氧化研究 [J]. 中国酿造, 2007(11): 26-28.
- Fan Y L, Liu Y X, Li Z X, et al. Study on antioxidative activity of almond-apricot vinegar [J]. China Brewing, 2007(11): 26-28. (in Chinese)
- [6] 罗安伟, 任亚梅, 寇莉苹, 等. 猕猴桃果醋的研制 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2002, 30(S1): 53-56.
- Luo A W, Ren Y M, Kou L P, et al. Studies on the kiwi-fruit vinegar [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition, 2002, 30(S1): 53-56. (in Chinese)
- [7] 李博, 李志西, 魏瑛, 等. 麸皮和黑曲对玉米醋抗氧化性的

[参考文献]

- [1] 徐芳, 赵春, 张雪辉, 等. 螺旋藻胶囊对营养性肥胖大鼠减肥作用的研究 [J]. 云南中医中药杂志, 2005, 26(6): 34-36.

- 影响 [J]. 中国酿造, 2008(3): 45-46.
- Li B, Li Z X, Wei Y, et al. Research on antioxidant activity of brans and *Aspergillus niger* on corn vinegar [J]. *China Brewing*, 2008(3): 45-46. (in Chinese)
- [8] 张粉艳, 赵炳鑫, 李志西, 等. 桑葚醋回淋发酵生产工艺及其 DPPH 清除能力研究 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(10): 35-36.
- Zhang F Y, Zhao B X, Li Z X, et al. Study on the auto-circular fermentation and DPPH eliminating ability of mulberry vinegar [J]. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2007, 35(10): 35-36. (in Chinese)
- [9] 郑健仙. 功能性食品(第三卷) [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999: 400-401, 434-437.
- Zheng J X. *Functional foods* [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1999: 400-401, 434-437. (in Chinese)
- [10] 赵鹏, 姚思宇, 刘荣珍, 等. γ -亚麻酸降血脂的动物实验研究 [J]. 中国热带医学, 2004, 4(5): 722-723.
- Zhao P, Yao S Y, Liu R Z, et al. Experimental study on the effect of γ -linolenic acid in reducing blood lipids in animals [J]. *China Tropical Medicine*, 2004, 4(5): 722-723. (in Chinese)
- [11] 郭于瑜. 血液的抗凝及血清的分离方法简介 [J]. 贵州畜牧兽医, 2002, 26(3): 29-30.
- Guo Y Y. Brief introduction for the methods of blood anticoagulation and serum separation [J]. *Guizhou Animal Science and Veterinary Medicine*, 2002, 26(3): 29-30. (in Chinese)
- [12] 陆洁. 一次性塑料试管对血清分离的影响 [J]. 中国现代医学杂志, 2000, 10(11): 105.
- Lu J. Effect of disposable tube on serum separation [J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2000, 10(11): 105. (in Chinese)
- [13] 金宗濂. 功能食品评价原理及方法 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1995: 97-110.
- Jin Z L. *Functional food analysis and estimate* [M]. Beijing: Peking University Press, 1995: 97-110. (in Chinese)
- [14] 孙永芳. 肥胖病病理生理的研究进展 [J]. 国外医学: 内分泌学分册, 1984(4): 182-184.
- Sun Y F. Advance in the pathophysiology research of obesity [J]. *Foreign Medical Sciences Section of Endocrine*, 1984(4): 182-184. (in Chinese)
- [15] Austin M A, King M C. Atherogenic lipoprotein phenotype: a proposed genetic marker for coronary heart disease risk [J]. *Circulation*, 1990, 82: 492-506.
- [16] Goldstein J L, Hazzard W R, Scha G, et al. Hyperlipidemia in coronary heart disease [J]. *Clin Invest*, 1973, 52: 1533-1534.
- [17] 王旭峰, 何计国, 陶纯洁, 等. 小麦麸皮的功能成分及加工利用现状 [J]. 粮食与食品工业, 2006, 13(1): 19-22.
- Wang X F, He J G, Tao C J, et al. Current of functional ingredients and exploitation of wheat bran [J]. *Cereal & Food Industry*, 2006, 13(1): 19-22. (in Chinese)
- [18] 林流丹, 欧仕益, 黄才欢, 等. 黑曲霉发酵副产物中营养成分分析 [J]. 食品科技, 2007(9): 145-148.
- Lin L D, Ou S Y, Huang C H, et al. Analysis of nutrients in fermented by-products by *Aspergillus niger* [J]. *Food Science and Technology*, 2007(9): 145-148. (in Chinese)

(上接第 193 页)

- [28] 吴钦孝. 森林保持水土机理及功能调控技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- Wu Q X. *The controlling technology for soil and water conservation mechanism and function of forest* [M]. Beijing: Science Press, 2005. (in Chinese)
- [29] 王应明, 张军奎. 基于标准差和平均差的权系数确定方法及其应用 [J]. 数理统计与管理, 2003, 22(3): 22-27.
- Wang Y M, Zhang J K. A method based on standard and mean deviations for determining the weight coefficients of multiple attributes and its applications [J]. *Symbolic Statistics and Management*, 2003, 22(3): 22-27. (in Chinese)
- [30] 汪培庄. 模糊集合论及其应用 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.
- Wang P Z. *The theory of fuzzy sets and its application* [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1983. (in Chinese)
- [31] 吴秉坚. 模糊数学及其经济分析 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- Wu B J. *Fuzzy mathematics and its economic analysis* [M]. Beijing: China Standard Press, 1994. (in Chinese)
- [32] 叶叶成, 柯丽华, 黄德育. 系统综合评价技术及其应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006: 97-128.
- Ye Y C, Ke L H, Huang D Y. *Comprehensive evaluation technologies of system and their applications* [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2006: 97-128. (in Chinese)