

基于偏最小二乘路径模型的粮食产量影响因素分析

舒畅, 张鑫, 王凯, 邹童, 易杨, 陈晖, 李小飞 (益阳市农业科学研究所, 湖南益阳 413046)

摘要 根据 1990—2018 年粮食产量相关统计数据, 选取有效灌溉面积、农用化肥施用折纯量、农业机械总动力、农用塑料薄膜使用量、农药使用量、支持农业生产支出、农村居民人均可支配收入、成灾面积、农村用电量、播种面积这 10 项指标, 采用简单相关分析、典型相关分析、偏最小二乘路径模型分析了影响粮食产量的主演因素。结果表明: 通过简单相关分析法, 对单位面积粮食产量影响最大的因素是农村用电量, 对粮食总产量影响最大的因素是支持农业生产支出; 通过典型相关分析法, 对产量影响较大的因素是有效灌溉面积、播种面积; 通过偏最小二乘路径模型法, 对粮食产量影响较大的潜变量是科技因素, 其中以塑料薄膜使用量所占载荷最大。

关键词 粮食安全; 偏最小二乘路径分析; 影响因素; 对策

中图分类号 S-9; F320 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)08-0191-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.08.053



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on Factors Influencing Grain Yield Based on Partial Least Squares Path Modeling

SHU Chang, ZHANG Xin, WANG Kai et al (Yiyang Agricultural Sciences Research Institute, Yiyang, Hunan 413046)

Abstract Based on the statistical data of grain output in China from 1990 to 2018, 10 indicators were selected, including effective irrigation area, pure amount of agricultural chemical fertilizer application, total power of agricultural machinery, consumption of agricultural plastic film, consumption of pesticides, expenditure for supporting agricultural production, per capita disposable income of rural residents, disaster area, rural electricity consumption and sown area. Simple correlation analysis, canonical correlation analysis and partial least square path model are used to analyze the main factors affecting grain yield. The results show that the most important factor affecting grain yield per unit area is rural electricity consumption, and the most important factor affecting total grain output is supporting agricultural production expenditure. Through canonical correlation analysis, the factors that have great influence on yield are effective irrigation area and sowing area; according to the partial least squares path model method, the potential variable that has a great influence on grain yield is scientific and technological factors, among which the load of plastic film is the largest.

Key words Grain yield; Partial least squares path modeling; Impact factor; Countermeasure

我国是人口大国, 同时也是粮食消费大国, 粮食安全是关乎国家稳定的重大问题。从 2004 年开始, 每年中央一号文件均聚焦“三农”问题。2020 年受疫情影响, 保障粮食产量再次成为人民关心的热点问题。2020 年 5 月 23 日, 习近平总书记在全国政协会议上强调, “对我们这样一个有着 14 亿人口的大国来说, 农业基础地位任何时候都不能忽视和削弱, 手中有粮、心中不慌在任何时候都是真理。这次新冠肺炎疫情如此严重, 但我国社会始终保持稳定, 粮食和重要农副产品稳定供给功不可没”。因此, 对粮食产量开展研究, 进一步揭示粮食产量与不同因素间的相互影响关系具有积极意义。

目前相关学者已从不同视角对粮食产量影响因素进行了研究: 吴红霞等分别采用偏最小二乘回归模型、分位数回归、灰色关联度分析模型、主成分分析、粗糙集等方法对湖北、河南、广东粮食产量影响因素进行客观分析^[1-5]。李青松等^[6-8]从粮食产量波动特征角度出发分别对河南省粮食产量以及我国粮食产量影响因素进行探究。而胡慧芝等^[9]则聚焦长江流域县域粮食产量演变情况。从研究方法来看, 尽管不同学者研究方法不一, 但由于粮食产量影响因素较多, 各因素的影响程度强弱存在差异, 此外不同的时间、空间维度也会使粮食产量具有独特的区域性性质, 有些模型并没有很好地解决这一问题。

基于此, 该研究以我国粮食产量为研究主体, 以 1990—2018 年为研究时间序列, 选取 10 个影响粮食产量因子指标, 根据我国粮食产量的特征, 构建偏最小二乘路径 (partial least squares path modeling, PLSPM) 模型, 深入研究自然、科技、经济、生产等因素对粮食产量的影响, 进一步揭示我国粮食产量及其主要影响因素的内在联系, 明确制约我国粮食生产因素, 为今后调控我国粮食增产、稳产提供理论依据。

1 数据来源与影响因子选取

1.1 数据来源 该研究所采集的粮食产量、科技因素、自然因素、经济因素和农业生产条件数据来源于《中国农村统计年鉴》。由于大部分经济因素的统计数据在 1990 年以前缺失严重, 故选取的数据范围为 1990—2018 年。

1.2 影响因子选取 影响粮食产量的因素复杂, 借鉴前人经验^[7,10], 粮食产量主要的影响因素大致可以分为 4 类: 自然因素 (A_1)、科技因素 (A_2)、经济因素 (A_3) 以及农业生产条件 (A_4)。因此该研究选取了 1990—2018 年粮食产量 (稻谷、小麦、玉米 3 种作物产量), 包括单位面积粮食产量 (X_1)、粮食总产量 (X_2) 作为因变量。影响因子主要有: 科技因素, 包括有效灌溉面积 (Y_1)、农用化肥施用折纯量 (Y_2)、农业机械总动力 (Y_3)、农用塑料薄膜使用量 (Y_4)、农药使用量 (Y_5); 经济因素, 包括支持农业生产支出 (Y_6)、农村居民人均可支配收入 (Y_7); 自然因素, 包括成灾面积 (Y_8); 农业生产条件投入因素, 包括农村用电量 (Y_9)、播种面积 (Y_{10})。

1.3 统计分析方法 采用 SPSS 24.0 统计软件进行描述性统计分析和相关性分析^[11]。采用 R 软件处理。并通过 plspm 程序包对粮食产量以及各指标构建偏最小二乘路径模

基金项目 湖南省水稻产业体系湘中实验站项目。

作者简介 舒畅 (1982—), 男, 湖南益阳人, 高级农艺师, 从事水稻栽培研究。

收稿日期 2021-07-28

型(PLSPM)。

2 结果与分析

2.1 粮食产量及其影响因子的基本统计特征 1990—2018年粮食单产、总产以及各影响因子的最小值、最大值、平均值、标准差、偏度和峰度等基本统计结果见表1。粮食年单产

在13 318.92~1 8547.49 kg/hm²,年平均单产产量为15 890.68 kg/hm²,粮食年总产量在36 297.38万~60 977.34万t,年平均总产量为46 341.19万t。各影响因素数据偏度在-0.47~1.00,峰度在-1.49~-0.19。

表1 粮食产量及其影响因子的基本统计特征

Table 1 The basic statistical characteristics on food yield and its influence factors

变量代码 Variable code	变量 Variable	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis
X ₁	粮食单产(kg/hm ²)	13 318.92	18 547.49	15 890.68	1 614.96	0.19	-1.18
X ₂	粮食产量(万t)	36 297.38	60 977.34	46 341.19	8 472.18	0.67	-1.07
Y ₁	有效灌溉面积(×10 ³ hm ²)	47 403.10	68 271.64	56 406.36	6 528.64	0.42	-1.02
Y ₂	农用化肥施用折纯量(万t)	2 590.30	6 022.60	4 626.59	1 071.01	-0.30	-1.07
Y ₃	农业机械总动力(万kW)	28 707.70	111 728.07	67 426.22	28 009.69	0.09	-1.49
Y ₄	农用塑料薄膜使用量(万t)	48.20	260.36	167.04	67.43	-0.12	-1.27
Y ₅	农药使用量(万t)	73.30	180.77	139.03	34.48	-0.47	-0.88
Y ₆	支持农业生产支出(亿元)	221.80	6 458.60	2 394.97	2 243.88	0.82	-0.91
Y ₇	农村居民人均可支配收入(元)	121.00	14 617.00	4 891.01	4 235.09	1.00	-0.19
Y ₈	成灾面积(×10 ³ hm ²)	9 201.00	34 374.00	21 459.86	7 333.92	-0.02	-1.09
Y ₉	农村用电量(亿kW·h)	844.50	9 524.42	4 591.39	3 016.92	0.40	-1.36
Y ₁₀	播种面积(×10 ³ hm ²)	72 572.91	100 348.93	86 232.91	7 729.68	0.38	-0.77

2.2 粮食产量与各影响因素简单相关性分析 由表2可知,单位面积粮食产量、粮食总产量均与受灾面积呈极显著负相关,相关系数分别为-0.789、-0.831,单位面积粮食产量、粮食总产量均与有效灌溉面积、农用化肥施用折纯量、农业机械总动力、农用塑料薄膜使用量、农药使用量、支持农业生产支

出、农村居民人均可支配收入、成灾面积、农村用电量、播种面积等因素呈极显著正相关。单位面积粮食产量与农村用电量相关性最大,相关系数为0.977,粮食总产量与支持农业生产支出相关性最大,相关系数为0.965。

表2 粮食产量与各影响因素间简单相关系数

Table 2 The coefficient of simple correlation on food yield and its influence factors

变量 Variable	X ₁	X ₂	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀
X ₁	1											
X ₂	0.950**	1										
Y ₁	0.974**	0.938**	1									
Y ₂	0.960**	0.864**	0.949**	1								
Y ₃	0.958**	0.891**	0.964**	0.981**	1							
Y ₄	0.964**	0.878**	0.970**	0.993**	0.989**	1						
Y ₅	0.904**	0.787**	0.879**	0.981**	0.949**	0.958**	1					
Y ₆	0.949**	0.965**	0.970**	0.989**	0.931**	0.922**	0.802**	1				
Y ₇	0.947**	0.960**	0.973**	0.867**	0.899**	0.900**	0.765**	0.981**	1			
Y ₈	-0.789**	-0.831**	-0.743**	-0.658**	-0.722**	-0.680**	-0.574**	-0.820**	-0.801**	1		
Y ₉	0.977**	0.940**	0.986**	0.953**	0.977**	0.974**	0.889**	0.977**	0.962**	-0.780**	1	
Y ₁₀	0.764**	0.927**	0.760**	0.631**	0.688**	0.651**	0.546**	0.844**	0.836**	-0.777**	0.764**	1

注:“**”表示0.01显著水平

Note: ** indicate significant level at 0.01

2.3 粮食产量与各影响因素典型相关性分析 对样本进行典型相关系数的显著性检验,结果显示2组典型变量显著相

关(表3)。

表3 粮食产量与相关评价指标的典型相关系数及卡方检验结果

Table 3 The canonical correlation coefficient and Chi-square test of food yield and its influence factors

典型变量 Canonical variable	相关性 Correlation	特征值 Eigenvalue	Wilk's	F	Df	P值 P value
1	1.000	2052.333	0.000	431.533	20.000	0.000
2	0.984	30.629	0.032	61.258	9.000	0.000

进一步分析得到这 2 组典型变量构成的线性表达式:

$$\begin{cases} V_1 = 0.818X_1 - 1.743X_2 \\ U_1 = 0.31Y_1 + 0.126Y_2 + 0.052Y_3 - 0.103Y_4 - 0.165Y_5 - 0.224Y_6 - 0.207Y_7 - 0.002Y_8 + 0.215Y_9 - 0.775Y_{10} \end{cases}$$

以及:

$$\begin{cases} V_2 = 3.088X_1 - 2.674X_2 \\ U_2 = 0.269Y_1 + 3.174Y_2 - 0.543Y_3 - 1.044Y_4 - 1.036Y_5 - 1.031Y_6 - 0.062Y_7 - 0.276Y_8 + 1.299Y_9 - 0.994Y_{10} \end{cases}$$

构成典型变量的原变量系数大小代表原变量对典型相关系数影响的程度,从以上典型变量线性表达式中可以看出,第一典型变量表明粮食总产量与农用塑料薄膜使用量、农药使用量、农业生产支出、农村居民人均可支配收入、播种面积成正相关,其中播种面积对粮食总产量影响最大,成灾面积对粮食总产量影响能力有限;第二典型变量表明单产面积粮食产量与有效灌溉面积、农用化肥施用折纯量、农村用电量呈正相关,农用化肥施用折纯量对单位面积粮食产量影响程度最大,农村居民人均可支配收入对单位面积粮食产量的影响能力有限,而成灾面积对单位面积粮食产量的负面影

响较大。

2.4 粮食产量与影响因素偏最小二乘路径分析与模型构建 偏最小二乘路径模型是一种研究显变量与潜变量的完整多元相关关系模型。利用 R 语言对粮食产量、科技因素、经济因素、环境因素、生产因素的各参数进行了偏最小二乘路径模型构建,如图 1 所示,科技因素、经济因素、生产因素对粮食产量有正向作用,且经济因素对产量影响效应最大,影响系数达到 0.994 1,其次是科技因素,影响系数为 0.935 2,而生产因素对粮食产量影响系数最小仅为 0.834 1。而环境因素对粮食产量的提高具有反向作用。模型拟合度达到 0.920 6。

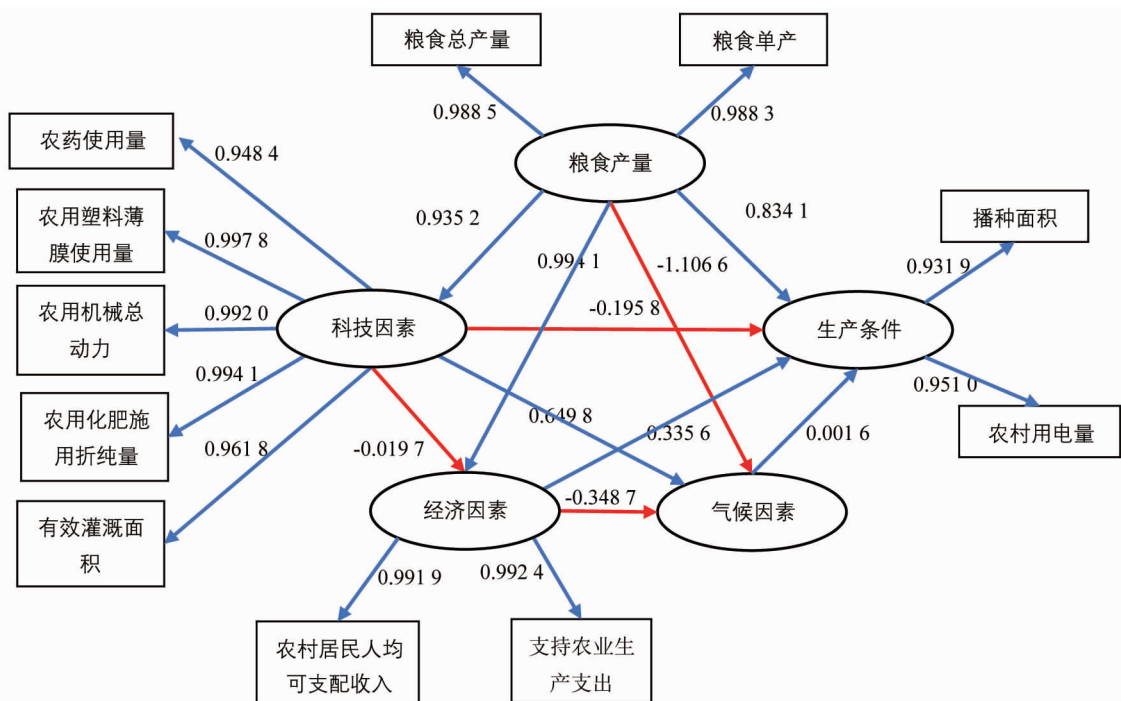


图 1 粮食产量与相关参数偏最小二乘路径模型构建结果及各因子载荷关系模型

Fig.1 The result of PLS-PM and the model of each factor loading on food yield and its influence factors

利用 R 语言构建显变量与潜变量载荷关系,由图 1 可知,粮食产量因素中显变量粮食总产量载荷高于粮食单位面积产量;科技影响因素中显变量农用塑料薄膜使用量因素载荷最大为 0.997 8,其次是农用化肥施用量载荷系数为 0.994 1,农药施用量载荷最低为 0.948 4;在经济影响因素中显变量财政支农支出载荷系数高于农村居民人均可支配收入;生产影响因素中显变量农村用电量载荷系数高于播种面积。

3 结论与建议

3.1 结论 相关分析是研究两组随机变量间相关程度及相关方向的一种统计方法。该研究相关分析结果表明:影响粮

食产量的各因素均与粮食单位产量、粮食总产量相关性达到极显著水平,除受灾面积因素外其余各因素与粮食单位产量、粮食总产量均成正相关性。其中,与单位面积粮食产量相关性最大的因素是农村用电量,与粮食总产量相关性最大的因素是支持农业生产支出。

典型相关分析旨在揭示两组指标之间的整体相关性。该研究典型相关分析结果表明:单位面积粮食产量主要由农用化肥施用折纯量因素决定,粮食总产量主要由播种面积因素决定。简单相关分析结果与典型相关分析结果有差异,这主要是由于简单相关分析注重两个变量间的逻辑关系,其结果往往过于表面,不能深刻地反映两组变量间的本质联系。

最小偏二乘路径模型(PLSPM)是着重研究显变量与潜变量之间关系的一种测量模型,能够更直观地体现显变量与潜变量的内在联系。该研究最小偏二乘路径模型分析结果表明:气候因素是主要限制粮食产量提高的主要因素,科技因素对粮食产量提升作用最大。在科技因素中显变量塑料薄膜使用量载荷量最大,在经济因素中显变量财政支农支出的载荷量最大,在生产条件因素中农村用电量载荷量最大。

3.2 建议 通过对1990—2018年我粮食产量影响因素的深入分析,针对构建我国粮食安全长效机制提出以下建议。

3.2.1 提升科技创新对粮食安全的提升作用。①完善科技创新体制建设。建立市场为导向、农业企业与科研单位为主体、政府全方位服务的农业科技体系,打破科研、教育和推广三个环节闭环状态,强化各单位之间的沟通与协作。②加速科技人才队伍建设。体系化培养科研人才与技工人才,强化知识产权保护与成果转化,切实保障科技人才待遇。③集中力量进行科技攻关与成果推广。对农业“卡脖子”的薄弱环节如新品种选育等,加快科技攻关;加快推进农业数字化建设,推广物联网、智联网、大数据、云计算等新技术应用,全面落实“智慧农业”发展战略。

3.2.2 强化财政资金对粮食安全的保障作用。①狠抓惠农政策的到位与落实工作。加大各项惠农政策的宣传力度,让政策真正下沉到农户层面。加大对政策落实的督查力度。②完善财政投入与金融资本作用。完善涉农资金统筹整合长效机制,加大粮食生产补贴和收购价格补贴力度。发挥财政投入引领作用,撬动金融资本、社会力量参与乡村振兴。持续深化农村金融改革,运用多种金融工具保障农业农村优先发展。③切实控制农资价格,严厉打击随意哄抬农资价格行为。切实保障农机具、农资等售后服务,严厉打击“骗农”“坑农”“伤农”等行为。

3.2.3 发挥基础设施对粮食安全的“避险”作用。①加强传统基础设施建设。加快农田水利、机耕道等基础设施建设力度,探索“谁受益、谁管护”的设施管护机制。用优惠政策吸引社会资本投资基础设施建设,探索建立仓储、烘干等公用共享设施。②加强新一代基础设施建设。加大农村电网建设力度,提升农村电力保障水平。加快建设农业遥感卫星等新一代基础设施,完善农业气象综合监测网络,提升农业气象灾害防范能力。③完善基础设施“软件”建设。在完善农村土地确权颁证与加快土地流转的基础上,强化以绿色防控、土地托管、农技服务、烘干仓储销售等为重点的农业生产社会化服务体系建设,充分保障粮食产量,防止耕地非粮化。

参考文献

- [1] 吴红霞,李荆荆,聂艳,等.基于偏最小二乘回归模型的湖北省粮食产量影响因素分析[J].湖北农业科学,2017,56(13):2553-2559.
- [2] 毛伟.基于分位数回归的粮食产量影响因素分析:以湖北省为例[J].湖南财政经济学院学报,2012,28(2):81-86.
- [3] 李玉虎,陈俊美.基于灰色关联分析模型的河南粮食产量影响因素分析[J].农业技术与装备,2019(3):92-93,96.
- [4] 李心慧,朱嘉伟,王旋,等.基于主成分分析的河南省粮食产量影响因素分析[J].河南农业大学学报,2016,50(2):268-274.
- [5] 欧阳浩,戎陆庆,黄镇谨,等.基于粗糙集方法的广东省粮食产量影响因素分析[J].中国农业资源与区划,2014,35(6):100-107.
- [6] 李青松,邓素君,徐国劲,等.河南省粮食产量波动特征及影响因素分析[J].中国农学通报,2015,31(18):226-230.
- [7] 李昊儒,毛丽丽,梅旭荣,等.近30年来我国粮食产量波动影响因素分析[J].中国农业资源与区划,2018,39(10):1-10,16.
- [8] 顾莉丽.中国粮食主产区粮食产量波动研究[J].安徽农业科学,2011,39(20):12458-12461.
- [9] 胡慧芝,王建力,王勇,等.1990~2015年长江流域县域粮食生产与粮食安全时空格局演变及影响因素分析[J].长江流域资源与环境,2019,28(2):359-367.
- [10] 刘克强.对中国粮食安全问题研究[J].首都经济贸易大学学报,2008,10(5):42-46.
- [11] 王苏斌,郑海涛,邵谦谦,等.SPSS统计分析[M].北京:机械工业出版社,2003:113-230.
- [12] 李树明,黄治国,罗惠波,等.白酒丢糟发酵生产蛋白质饲料的菌种筛选[J].西南大学学报(自然科学版),2011,33(10):27-30.
- [13] 沈怡方.白酒生产技术全书[M].北京:中国轻工业出版社,1998.
- [14] 罗明有,游玲,潘玲玲,等.一株产纤维素酶的浓香型白酒酵母产酶条件的初步研究[J].食品工业,2016,37(6):52-55.
- [15] 宋波.白酒中各种成分对酒质的影响[J].酿酒科技,2011(12):65-67.
- [16] 李维青.浓香型白酒与乳酸菌、乳酸、乳酸乙酯[J].酿酒,2010,37(3):90-93.
- [17] 丁吉星,何玉云,梁艳英,等.新型嘉宝果起泡酒香气成分及特征香气分析[J].食品科学,2014,35(24):145-150.
- [18] 葛向阳,何宏魁,刘国英,等.影响人体酒精乙醇代谢速度的关键风味物质[J].食品与发酵工业,2021,47(1):160-164.
- [19] 王尹叶.白酒中挥发性呈苦和/或涩味物质研究[D].无锡:江南大学,2018.
- [20] 章克昌.酒精与蒸馏酒工艺学[M].北京:中国轻工业出版社,2010:557.
- [21] SHEN L, NISHIMURA Y, MATSUDA F, et al. Overexpressing enzymes of the Ehrlich pathway and deleting genes of the competing pathway in *Saccharomyces cerevisiae* for increasing 2-phenylethanol production from glucose[J]. Journal of bioscience and bioengineering, 2016, 122(1):34-39.
- [22] 富志磊,范光森,马超,等.老白干酒曲中一株高产 β -苯乙醇酵母菌的分离、鉴定及其产香特性研究[J].中国食品学报,2019,19(1):207-215.

(上接第143页)

- [8] 贾盼,赵东,彭志云,等.安琪酿酒曲在固态法白酒丢糟发酵中的应用[J].酿酒科技,2017(4):57-60.
- [9] 李娜,程伟,张杰,等.功能性酿酒微生物的筛选及其在绿色酿造生产中的应用[J].酿酒科技,2019(6):69-74.
- [10] 赵东,彭志云,牛广杰,等.强化发酵丢糟再生产白酒的研究[J].中国酿造,2011,30(2):147-149.
- [11] 刘跃红,吴正云,杨健,等.白酒丢糟的多酶复配降解制备可发酵性糖[J].生物加工过程,2014,12(6):18-22.
- [12] 李站胜,颜晨麟,江宁,等.脂肪酶处理白酒丢糟提升复糟酒的品质[J].现代食品科技,2019,35(5):191-197,123.
- [13] 张楷正,黄海.浓香型白酒酿造中的酯化酶研究及应用进展[J].酿酒科技,2016(2):93-96.
- [14] 张海英,王涛,游玲,等.5株酵母菌在浓香型白酒丢糟酒生产中的初步应用[J].食品工业,2017,38(10):154-157.
- [15] 王涛,胡先强,游玲,等.浓香型白酒酵母对发酵糟醅中乙醇及主要酸、酯生成的影响[J].食品与发酵工业,2015,41(8):18-22.
- [16] 游玲,蒲岚,王涛,等.1株毕赤氏属酵母的酿造特性[J].食品与发酵工业,2012,38(2):52-56.
- [17] 吴国峰,李国全,马永强.工业发酵分析[M].北京:化学工业出版社,2006:4-36.