



DAYC.CN
奶业天地.CN

奶业天地

Dairy Sky



云南省奶业协会
Dairy Association of
Yunnan Province

2

2024

总第66期
(内部资料 免费交流)



奶业天地
DairySky

主 编：毛华明

副主编：黄艾祥 李 清

白文顺 范江平

李永强

编 委：（按姓名笔画顺序排列）

马万平 毛华明

龙 江 刘蜀昆

余志刚 和 怡

黄艾祥 彭金国

编辑部主任：李清

责 任 编 辑：李清 白文顺

通 讯 地 址：云南农业大学动物营养

重点实验室

邮编：650201

电话：0871-63649220

E-mail: dayp2006@126.com

814318012@qq.com

目录

信息与交流

中国奶业协会发布《关于进一步加强奶业利益联结机制建设的指导意见》.....	3
中国奶业贸易月报2024年04月.....	4
中国营养学会发布《乳糖不耐受与科学饮奶专家共识》.....	15
2024畜牧业行业研究报告节选.....	17
云南省农业农村厅到个旧调研奶业产业集群项目发展情况.....	21
【安格斯◆专访】毛华明：云南肉牛产业未来发展之路.....	23
云南省现代农业奶牛产业技术体系 2023年度工作总结会议召开.....	27
种质提升及乳品多元化促进我省奶水牛业发展.....	28

奶业综合发展篇

不同饲料粗蛋白质水平对槟榔江水牛泌乳性能的影响.....	30
产神经酸菌种的筛选及发酵条件优化研究.....	44
青刺果凝乳酶对发酵型干酪质构特性及主要风味物质的影响.....	55



中国奶业协会发布《关于进一步加强奶业利益联结机制建设的指导意见》

中国奶业协会

中国奶业协会文件

中奶协发〔2024〕11号

关于进一步加强奶业利益联结机制建设的指导意见

推动奶业利益联结机制建设是促进奶业持续健康发展的有效措施，需要政府、企业、协会等齐心协力持续推进。中国奶业协会在登记机关民政部和业务指导机关农业农村部的指导和监督管理下，依据《国务院办公厅关于推进奶业振兴保障乳品质量安全的意见》精神和《中国奶业协会章程》职能规定，特制定本指导意见。

一、指导思想

深入贯彻《国务院办公厅关于推进奶业振兴保障乳品质量安全的意见》（国办发〔2018〕43号）精神，以产业一体化发展为核心任务，把密切养殖加工利益联结作为主攻方向，着力建立和完善养殖企业（包括养殖场、奶农、养殖合

企业与养殖企业应积极树立企业良好信誉和形象，承担社会赋予的责任和使命，签订并严格履行生鲜乳购销合同，促进养殖加工利益联结更加紧密、形式更加多样，抵御市场风险能力进一步增强，国产奶业竞争力进一步提升，共同推动我国奶业高质量发展可持续发展。

四、重点工作

（一）引导多元主体参与，构建优势互补的工作推动体系。充分发挥政府、市场、协会等作用，通过政府部门分类施策、行业协会引导协调、乳品企业积极带动、养殖企业主动参加和第三方协同助力，全面促进产业链各环节共担市场风险、共享发展红利。

（二）均衡产业链利益分配，建立更适生的生鲜乳价格协商机制。采取积极措施合理调节各环节利益，建立并逐步完善县级及以上地方人民政府引导、乳品企业、养殖企业和行业协会参与的生鲜乳价格协商机制，及时发布并落实生鲜乳指导价（参考价），驱动乳制品加工环节利润向原料奶生产环节传导，提升奶畜养殖积极性，稳固我国奶业发展根基。

（三）发挥生鲜乳购销合同作用，推动乳品企业与养殖企业建立长期稳定的合作关系。以稳定产业链发展为本要求，根据本地区生鲜乳收购指导价（参考价），鼓励乳品企业与养殖企业长期稳定合作，秉承对待自有牧场和社会牧场“一视同仁、以质论价、优质优价”的原则，规范签订和执行《生鲜乳购销合同》示范文本。鼓励加工企业与养殖企业

作社等）和乳品企业之间长效利益联结机制，完善生鲜乳价格协商机制，促进签订长期稳定的购销合同，维护公平合理的生鲜乳购销秩序，推进形成风险共担、利益共享的产业格局，增强奶业抵御市场风险的能力，实现一二三产业协调发展。

二、基本原则

注重市场主导。充分发挥市场配置资源的决定性作用，以共同利益诉求推动养殖企业和乳品企业建立稳定有效的利益联结机制。

坚持政府指导。充分发挥各级政府的指导作用，通过组织领导、政策支持、营造环境、稳定市场、监督管理、典型带动等方式，推动利益联结机制的形成与完善。

强化协会参与。充分发挥行业协会的桥梁纽带作用，在政府指导下，协调各利益相关方，加快推动建立或完善稳定有效的利益联结机制。

注重灵活多样。按照“平等自愿”原则，鼓励发展多种形式的利益联结模式，不断建立和完善更适合本地区、本企业的利益联结机制。

坚持务实创新。在总结现有利益联结模式的基础上，借鉴国内外先进经验，积极探索创新利益联结机制新模式，强化科技支撑和服务，为推动产业一体化发展提供可靠保障。

三、发展目标

立足当前纾困解难，着眼奶业高质量可持续发展，乳品

《中国乳制品消费扩容提质指导意见》精神，结合实际，落实好优化乳制品消费结构、拓展乳制品消费群体、培育乳制品新型消费等6个方面举措18项重点任务的相关内容。

（八）加大宣传推广力度，合力护航利益联结机制的建立与落地。强化对养殖加工“一荣俱荣、一损俱损”的认知，推动提升合同履约意识和维护合同严肃性和权威性，推广乳品企业开展利益联结的经典做法和经验，促进全产业链融合发展。

（九）促进相关政策制度建设，不断完善利益联结机制。推动完善金融支持政策，引导金融对利益联结成效好的企业倾斜。推动完善保险服务，鼓励金融机构开展奶畜活体抵押贷款和养殖企业抵押贷款等信贷产品创新，推进奶业保险扩面、提标。

（十）提供相关帮助支持，促进行业持续健康发展。推进加强奶业利益联结机制建设，在建设和推进过程中，各地奶业（乳业）协会和中国奶业协会根据情况积极组织法务专家、行业专家等提供相关帮助和指导。



中国奶业贸易月报2024年04月

奶业经济观察

目 录

- 01 奶业贸易概况
- 02 乳品原料贸易
- 03 消费乳品贸易
- 04 遗传物质贸易
- 05 牧草及饲料原料
- 01 奶业贸易概况
- 乳品贸易概况

1.1.1 2024年1季度进口干乳品-17%至49万吨，液态奶-11%至16万吨

2024年1季度我国共计进口各类乳制品65.2万吨，同比减少15.6%，进口额25.77亿美元，同比下降29.7%，进口乳制品折合生鲜乳为406万吨，同比减少16.7%（干制品按1:8，液态乳品按1:1折算，下同）。

其中，进口干乳制品48.72万吨，同比减少16.9%，进口额22.33亿美元，同比下降31.8%，进口液态奶16.48万吨，同比减少11.3%，进口额3.44亿美元，同比下降12.2%。

从主要品类来看，除稀奶油、蛋白类和炼乳外增长外，其他产品进口量全部下降，其中进口量最大的产品大包粉下降9.3%，降幅最大是婴配粉降幅近50%，乳清类产品进口下降20%。

大包粉 进口22.34万吨，同比-9.3%，进口额7.36亿元，同比-24.7%，均价3293美元/吨，同比-16.9%。主要来自新西兰占86%、澳大利亚占6.6%、欧盟占3.5%、白俄罗斯占1.9%。

婴配粉 进口4.11万吨，同比-48.5%，进口额8.11亿元，同比-42.5%，均价19752美元/吨，同比+11.7%。主要来自欧盟占65%、新西兰占30.8%。

奶酪类 进口4.12万吨，同比-2.2%，进口额2.12亿元，同比-11.5%，均价5138美元/吨，同比-9.5%。主要来自新西兰占62.1%、欧盟占16.3%、澳大利亚占12.4%、美国占6.9%。

奶油类 进口3.08万吨，同比-9.7%，进口额1.91亿元，同比-15.1%，均价6221美元/吨，同比-5.9%。主要来自新西兰占87.2%、欧盟占10.3%。

乳清类 进口13.48万吨，同比-20.7%，进口额1.59亿元，同比-37.9%，均价1178美元/吨，同比-21.6%。主要来自美国占46.2%、欧盟占32.4%、白俄罗斯占10.7%。

炼乳 进口0.37万吨，同比+48.5%，进口额0.07亿元，同比+35.1%，均价1900美元/吨，同比-9%。主要来自欧盟占

54.7%、澳大利亚占38%。

蛋白类 进口1.23万吨，同比+7.1%，进口额1.18亿元，同比-28.3%，均价9588美元/吨，同比-33%。主要来自新西兰占45.5%、美国占23.1%、欧盟占21.8%、澳大利亚占6.3%。

包装牛奶 进口9.68万吨，同比-18.3%，进口额0.95亿元，同比-23.8%，均价984美元/吨，同比-6.8%。主要来自欧盟占49.5%、新西兰占38.5%、澳大利亚占10.9%。

酸奶类 进口0.29万吨，同比-37%，进口额0.08亿元，同比-24.2%，均价2656美元/吨，同比+20.4%。主要来自欧盟占88.9%、澳大利亚占3.5%、新西兰占3.5%。

稀奶油 进口6.51万吨，同比+3.6%，进口额2.41亿元，同比-6.1%，均价3698美元/吨，同比-9.4%。主要来自新西兰占64.6%、欧盟占28.3%、英国占5%。

2024年3月我国共计进口各类乳制品21.06万吨，同比减少21.4%，进口额8.48亿美元，同比下降38%，折合生鲜乳127万吨，同比减少24%（干制品按1:8，液态奶按1:1折算）。

其中，进口干乳制品15.17万吨，同比减少24.4%，进口额7.17亿美元，同比下降40.8%，进口液态奶5.89万吨，同比减少12.3%，进口额1.32亿美元，

同比下降16.1%。

Figure 1-1 中国进口各类乳制品总量及主要来源国 2024年1季度

单位：万吨

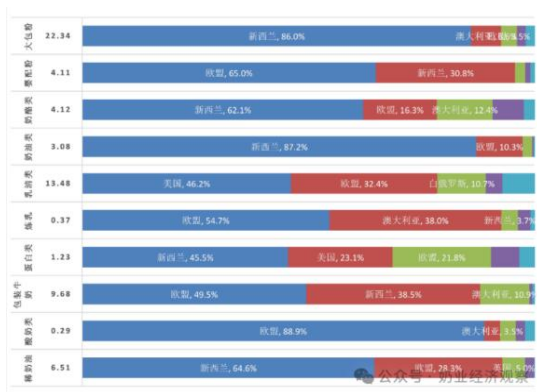


Table 1-1 中国乳制品进口情况 2024年1季度

单位：万吨、亿美元、美元/吨、%

	数量				金额				价格			
	3月	同比%	1季度	同比%	3月	同比%	1季度	同比%	3月	同比%	1季度	同比%
总计	21.06	-21.4	65.20	-15.6	8.48	-38.0	25.77	-29.7	4,028	-21.1	3,952	-16.8
干乳制品	15.17	-24.4	48.72	-16.9	7.17	-40.8	22.33	-31.8	4,726	-21.7	4,584	-18.0
大包粉	5.86	-23.2	22.34	-9.3	2.09	-29.2	7.36	-24.7	3,556	-7.8	3,293	-16.9
婴幼儿配方粉	1.24	-62.0	4.11	-48.5	2.53	-57.3	8.11	-42.5	20,488	12.2	19,752	11.7
乳清类	4.65	-14.1	13.48	-20.7	0.59	-27.8	1.59	-37.9	1,225	-16.0	1,178	-21.6
奶油类	1.12	-13.6	3.08	-9.7	0.70	-20.6	1.91	-15.1	6,255	-8.0	6,221	-5.9
奶酪类	1.54	-6.7	4.12	-2.2	0.80	-15.5	2.12	-11.5	5,166	-9.4	5,138	-9.5
炼乳	0.12	-90.3	0.37	48.5	0.02	-25.9	0.07	95.1	1,747	6.2	1,900	-9.0
蛋白类	0.44	8.2	1.23	7.1	0.44	-20.5	1.18	-28.3	10,000	-26.5	9,588	-33.0
液态奶	5.89	-12.3	16.48	-11.3	1.32	-16.1	3.44	-12.2	2,232	-4.3	2,086	-1.0
包装牛奶	3.22	-15.4	9.68	-18.3	0.32	-19.2	0.95	-23.8	1,004	-4.5	984	-6.8
稀奶油	2.55	-6.3	6.51	3.6	0.96	-14.4	2.41	-6.1	3,698	-9.4	3,698	-9.4
酸奶类	0.13	-35.8	0.29	-37.0	0.03	-28.3	0.08	-24.2	2,704	11.7	2,656	20.4

1.1.2 出口乳制品：2024年1季度+21%至1.45万吨

中国乳制品出口量很小，主要产品为大包粉、婴幼儿配方粉和炼乳，主要出口目的地为我国香港地区。

2024年1季度我国共计出口各类乳制品14535.02吨，同比增加21.3%，出口额0.58亿美元，同比增长0.3%。

其中，出口干乳制品5413.74吨，

同比增加11.4%，出口额0.48亿美元，同比下降3.9%，主要的三大类产品包括，大包粉2516.36吨，占46.5%，婴配粉1493.49吨，占27.6%，奶油类594.08吨，占11%。

出口液态奶9121.29吨，同比增加28%，出口额0.1亿美元，同比增长26.1%，主要产品有，包装牛奶7368.88吨，占80.8%，酸奶类1748.58吨，占19.2%。

牧草及饲料原料

1.2.1 进口干草：2024年1季度36万吨，同比下增长2.9%

据海关统计，2024年1季度，我国进口干草累计36.18万吨，同比增2.9%，进口金额13814.22万美元，同比下降32.7%，平均到岸价381.85美元/吨，同比下跌34.5%。

苜蓿干草：据中国海关统计，2024年1季度月进口苜蓿干草30.67万吨，同比下降8.0%，进口金额11866.18万美元，同比下降39.7%，平均到岸价386.85美元/吨，同比下跌34.5%。

从进口来源国看，苜蓿干草进口主要来自美国 27.12 万吨，占比 88.4%，同比下降 1.0%，进口金额 10748.59 万美元，同比下降 35%，进口价格 396.38 美元/吨，同比下跌 34.3%；西班牙 1.71 万吨，占比 5.6%，同比下降 3.1%，进

口金额 505.79 万美元，同比下降 46%，进口价格 295.19 美元/吨，同比下跌 44.2%；南非 1.02 万吨，占比 3.3%，同比下降 69%，进口金额 359.64 万美元，同比下降 79.3%，进口价格 351.53 美元/吨，同比下跌 33.4%。

此外，从苏丹、加拿大、罗马尼亚、阿根廷、哈萨克斯坦等国少量进口。

燕麦干草：据海关统计，2024 年 1 季度，我国进口燕麦干草累计 5.50 万吨，同比增长 202.4%，进口金额 1947.69 万美元，同比增长 137.3%，平均到岸价 353.87 美元/吨，同比下跌 21.5%；其中 3 月进口 2.02 万吨，同比增长 247.6%，金额 708.87 万美元，同比增长 172.1%，平均到岸价 351.1 美元/吨，环比下跌 1.7%，同比下跌 21.7%。燕麦草进口主要来自于澳大利亚。

02 乳品原料贸易

乳品进口

2.1.1 干乳制品1季度进口48.72万吨 同比减少16.9%

2024年1季度进口干乳制品48.72万吨，同比减少16.9%，进口额22.33亿美元，同比下降31.8%，主要的三大类产品包括，大包粉22.34万吨，占45.8%，乳清类13.48万吨，占27.7%，婴配粉4.11万吨，占8.4%。

3月进口干乳制品15.17万吨，同比

减少24.4%，进口额7.17亿美元，同比下降40.8%，主要的三大类产品包括，大包粉5.86万吨，占38.7%，乳清类4.85万吨，占32%，婴配粉1.24万吨，占8.2%。

2.1.2 大包粉1季度进口-9.3%至22.34万吨，价格同比-16.9%

据中国海关统计，2024年1季度中国共进口大包粉22.34万吨，同比减少9.3%；进口额7.36亿美元，同比减少24.7%，平均价格为3293美元/吨，同比下降16.9%。

其中，从新西兰进口19.21万吨，占86%，同比增加5.4%；澳大利亚进口1.48万吨，占6.6%，同比减少39.4%。

3月中国共进口大包粉5.86万吨，同比减少23.2%，进口额2.09亿美元，同比减少29.2%，平均价格为3556美元/吨，同比下降7.8%。

其中，从新西兰进口4.71万吨，占80.4%，同比减少11.5%；澳大利亚进口0.55万吨，占9.4%，同比减少36.2%；欧盟进口0.37万吨，占6.4%，同比减少64.1%。

Table 2-1 中国大包粉进口量变化

2018-2024

单位：万吨、亿美元、美元/吨

	2018	2020	2021	2022	2023	2024.1-3	同比%
数量	80.14	97.9	127.5	103.53	77.39	22.34	-9.3
金额	24.29	32.9	46.0	44.30	29.13	7.36	-24.7
价格	3030	3,361	3,604	4,279	3,764	3,293	-16.9

Table 2-2 中国大包粉进口来源地

2024年1季度

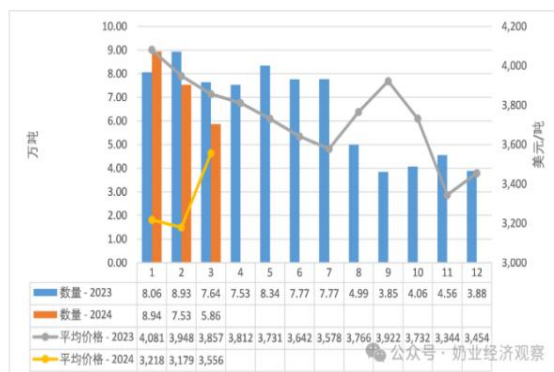
单位：万吨、%

国家（地区）	2024年3月			2024年1季度		
	数量	占比%	同比%	数量	占比%	同比%
国家合计	5.86	100.0	-23.2	22.34	100.0	-9.3
新西兰	4.71	80.4	-11.5	19.21	86.0	5.4
澳大利亚	0.55	9.4	-36.2	1.48	6.6	-39.4
欧盟	0.37	6.4	-64.1	0.79	3.5	-69.7
白俄罗斯	0.06	1.1	52.1	0.44	1.9	58.4
瑞士	0.10	1.7	95.2	0.20	0.9	95.6
欧盟合计	0.37	6.4	-64.1	0.79	3.5	-69.7
芬兰	0.14	2.5	-21.3	0.23	1.0	-63.85
荷兰	0.08	1.4	122.8	0.22	1.0	43.17
法国	0.04	0.7	-85.6	0.09	0.4	-84.39
瑞典	0.05	0.9	-72.9	0.06	0.3	-85.84
德国	0.02	0.3	-92.7	0.06	0.3	-80.94

注：以2023年当年累计数排序，占比均为占全国进口总量的比重。

Figure 2-1 中国大包粉月度进口

2023~2024



2.1.3 乳清类1季度进口-20.7%至13.48万吨，价格同比-21.6%

据中国海关统计，2024年1季度中国共进口乳清类13.48万吨，同比减少20.7%；进口额1.59亿美元，同比减少37.9%，平均价格为1178美元/吨，同比下降21.6%。

其中，从美国进口6.22万吨，占46.2%，同比减少23.7%；欧盟进口4.37万吨，占32.4%，同比减少28.8%；白俄

罗斯进口1.45万吨，占10.7%，同比增加14%。

3月中国共进口乳清类4.85万吨，同比减少14.1%，进口额0.59亿美元，同比减少27.8%，平均价格为1225美元/吨，同比下降16%。

其中，从美国进口2.41万吨，占49.8%，同比减少4.6%；欧盟进口1.54万吨，占31.7%，同比减少22.4%；白俄罗斯进口0.52万吨，占10.7%，同比减少8.9%。

Table 2-3 中国乳清进口情况

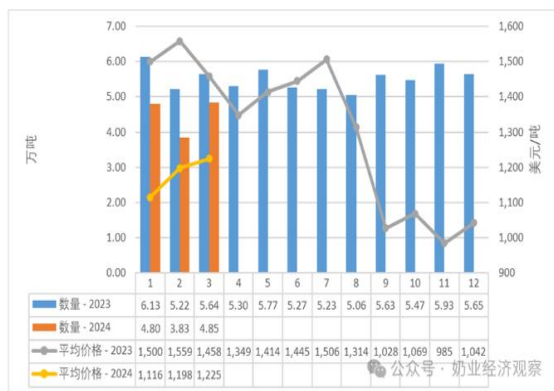
2024年1季度

单位：万吨、%

国家（地区）	2024年3月			2024年1季度		
	数量	占比%	同比%	数量	占比%	同比%
国家合计	4.85	100.0	-14.1	13.48	100.0	-20.7
美国	2.41	49.8	-4.6	6.22	46.2	-23.7
欧盟	1.54	31.7	-22.4	4.37	32.4	-28.8
白俄罗斯	0.52	10.7	-8.9	1.45	10.7	14.0
阿根廷	0.10	2.0	-48.1	0.50	3.7	16.5
新西兰	0.08	1.6	2.7	0.33	2.5	63.1
欧盟合计	1.54	31.7	-22.4	4.37	32.4	-28.8
爱尔兰	0.34	6.9	166.3	0.91	6.8	157.51
荷兰	0.25	5.2	-34.9	0.90	6.7	-33.64
法国	0.28	5.8	-8.1	0.71	5.3	-41.29
波兰	0.22	4.5	-61.1	0.68	5.0	-56.67
德国	0.14	2.9	-55.1	0.47	3.5	-39.01

Figure 2-2 中国乳清月度进口

2023-2024



2.1.4 奶酪类1季度进口-2.2%至4.12

万吨，价格同比-9.5%

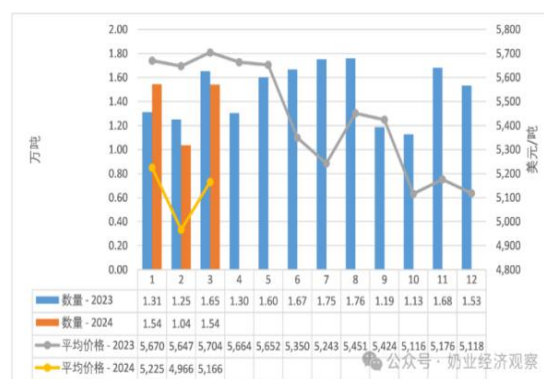
据中国海关统计，2024年1季度中国共进口奶酪类4.12万吨，同比减少2.2%；进口额2.12亿美元，同比减少11.5%，平均价格为5138美元/吨，同比下降9.5%。

其中，从新西兰进口2.56万吨，占62.1%，同比减少11.4%；欧盟进口0.67万吨，占16.3%，同比增加24.1%；澳大利亚进口0.51万吨，占12.4%，同比增加14.9%；美国进口0.28万吨，占6.9%，同比增加128.5%。

3月中国共进口奶酪类1.54万吨，同比减少6.7%，进口额0.8亿美元，同比减少15.5%，平均价格为5166美元/吨，同比下降9.4%。

其中，从新西兰进口0.91万吨，占58.9%，同比减少12.5%；欧盟进口0.25万吨，占16.1%，同比增加26.9%；澳大利亚进口0.23万吨，占15.2%，同比减少0.1%；美国进口0.12万吨，占7.7%，同比增加44.4%。

Figure 2-3 中国奶酪月度进口2023~2024





2.1.5 奶油类1季度进口-9.7%至3.08万吨，价格同比-5.9%。

据中国海关统计，2024年1季度中国共进口奶油类3.08万吨，同比减少9.7%；进口额1.91亿美元，同比减少15.1%，平均价格为6221美元/吨，同比下降5.9%。

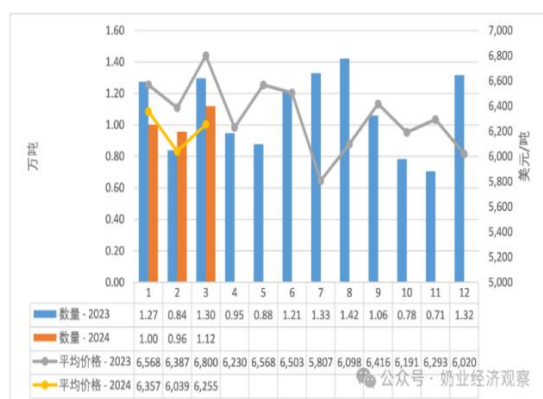
其中，从新西兰进口2.68万吨，占87.2%，同比减少13.7%；欧盟进口0.32万吨，占10.3%，同比增加24.6%。

3月中国共进口奶油类1.12万吨，同比减少13.6%，进口额0.7亿美元，同比减少20.6%，平均价格为6255美元/吨，同比下降8%。

其中，从新西兰进口0.94万吨，占84.4%，同比减少19.2%；欧盟进口0.15万吨，占13.3%，同比增加28.4%。

Figure 2-4中国奶油月度进口

2023~2024



乳品出口

中国乳制品出口量很小，主要产品为大包粉、婴幼儿配方粉和炼乳，主要出口目的地为我国香港地区。

2024年1季度我国共计出口各类乳制品14535.02吨，同比增加21.3%，出口额0.58亿美元，同比增长0.3%。

2.2.1 干乳制品2024年1季度我国出口5413.74吨 同比增加11.4%

2024年1季度，我国出口干乳制品5413.74吨，同比增加11.4%，出口额0.48亿美元，同比下降3.9%，主要的三大类产品包括，大包粉2516.36吨，占46.5%，婴配粉1493.49吨，占27.6%，奶油类594.08吨，占11%。

出口目的地：其中，出口至我国香港2468.03吨，占45.6%，同比增加26.1%；出口至蒙古891.66吨，占16.5%，同比增加596.7%；出口至尼日利亚585.44吨，占10.8%，同比增加29171.9%；出口至菲律宾463.71吨，占8.6%，同比增加48.8%。

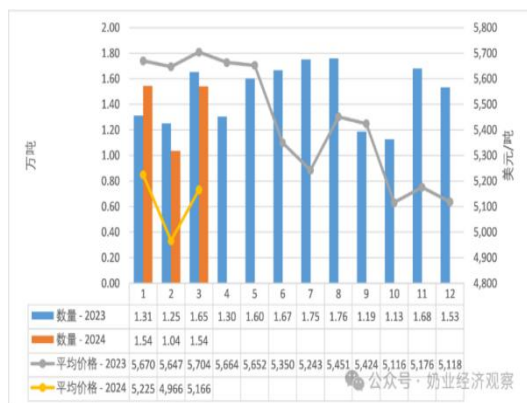
2.2.2 大包粉1季度出口+19.3%至2516.36吨，价格同比+2.3%

据中国海关统计，2024年1季度中国共出口大包粉2516.36吨，同比增加19.3%；出口额0.1亿美元，同比增加22.1%，平均价格为3885美元/吨，同比上涨2.3%。

其中，出口至蒙古834.08吨，占33.1%，同比增加551.7%；出口至香港812.9吨，占32.3%，同比增加23.4%；出口至尼日利亚577.5吨，占22.9%，同比

减少0%；出口至朝鲜221.22吨，占8.8%，同比减少80.3%。

Figure 2-5 中国大包粉月度出口
2023~2024



2.2.3 婴配粉1季度出口+11.1%至1493.49吨，价格同比-17.3%

据中国海关统计，2024年1季度中国共出口婴配粉1493.49吨，同比增加11.1%；出口额0.33亿美元，同比减少8.2%，平均价格为22090美元/吨，同比下降17.3%。

其中，出口至香港1269.84吨，占85%，同比增加44.9%。

Figure 2-6 中国婴幼儿配方奶粉月度出口2023~2024



2.2.4 液态奶 2024 年 1 季度出口

9121.29 吨 同比增加 28%

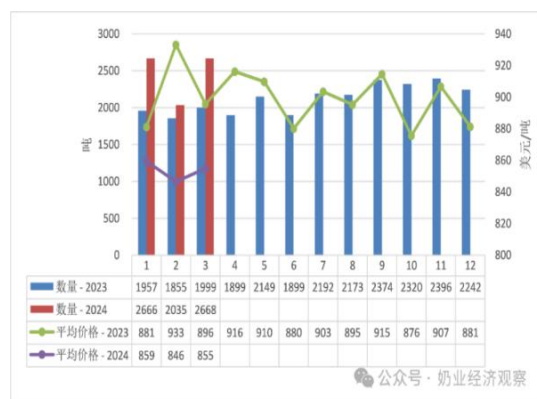
2024年1季度出口液态奶9121.29吨，同比增加28%，出口额0.1亿美元，同比增长26.1%，平均价格为1112美元/吨，同比下降1.5%。

其中，出口至香港7530.89吨，占82.6%，同比增加17.3%。出口液态奶中，包装牛奶占81%，包装牛奶几乎全部出口至我国香港。

据中国海关统计，2024年1季度中国共出口包装牛奶7368.88吨，同比增加26.8%；出口额0.06亿美元，同比增加20%，平均价格为854美元/吨，同比下降5.4%。

其中，出口至香港6552.08吨，占88.9%，同比增加17.2%。

Figure 2-7 中国包装牛奶月度出口
2023~2024



03 消费乳品贸易

消费乳品进口

3.1.1 婴配粉1季度进口-48.5%至4.11万吨，价格同比+11.7%

据中国海关统计，2024 年 1 季度

中国共进口婴配粉 4.11 万吨，同比减少 48.5%；进口额 8.11 亿美元，同比减少 42.5%，平均价格为 19752 美元/吨，同比上涨 11.7%。

其中，从欧盟进口 2.67 万吨，占 65%，同比减少 54.1%；新西兰进口 1.26 万吨，占 30.8%，同比减少 28.6%。

3 月中国共进口婴配粉 1.24 万吨，同比减少 62%，进口额 2.53 亿美元，同比减少 57.3%，平均价格为 20488 美元/吨，同比上涨 12.2%。

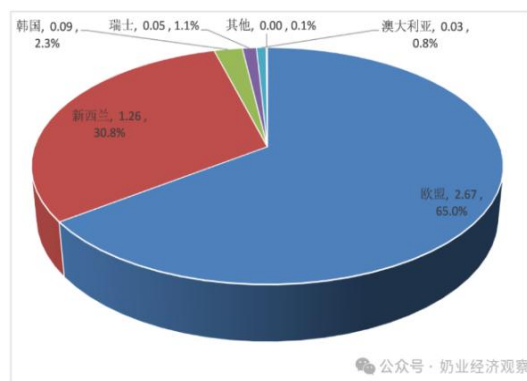
Figure3- 1 中国婴幼儿配方奶粉月度进口量及价格 2023~2024

单位：万吨

国家（地区）	2024 年 3 月			2024 年 1 季度		
	数量	占比%	同比%	数量	占比%	同比%
国家合计	1.24	100.0	-62.0	4.11	100.0	-48.5
欧盟	0.65	53.0	-72.0	2.67	65.0	-54.1
新西兰	0.50	40.2	-37.8	1.26	30.8	-28.6
韩国	0.06	4.6	18.2	0.09	2.3	-53.5
瑞士	0.02	1.4	-4.0	0.05	1.1	-17.5
澳大利亚	0.01	0.7	-82.0	0.03	0.8	-74.1
欧盟合计	0.65	53.0	-72.0	2.67	65.0	-54.1
荷兰	0.34	27.5	-78.1	1.36	33.2	-65.53
法国	0.10	7.9	-79.3	0.46	11.2	-45.63
德国	0.07	5.5	-50.2	0.44	10.8	-2.70
爱尔兰	0.12	9.4	-14.3	0.32	7.7	-30.85
丹麦	0.02	1.8	-40.4	0.04	1.0	-45.24

Figure3-2 中国婴幼儿配方奶粉进口来源国及比重 2024 年 1 季度

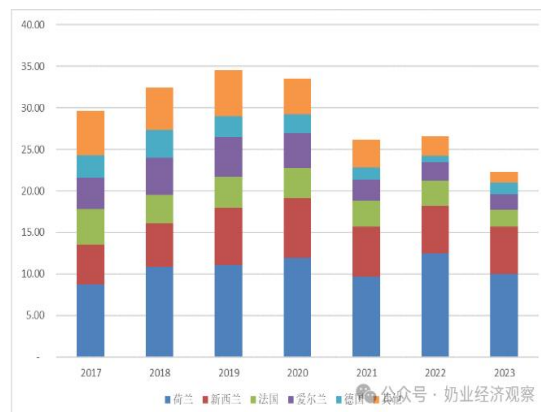
单位：万吨



其中，从欧盟进口 0.65 万吨，占 53%，同比减少 72%；新西兰进口 0.5 万吨，占 40.2%，同比减少 37.8%。

Figure 3-3 中国婴幼儿配方奶粉进口量变化 2017~2023

单位：万吨



3.1.2 包装牛奶 1 季度进口 -18.3% 至 9.68 万吨，价格同比 -6.8%

据中国海关统计，2024 年 1 季度中国共进口包装牛奶 9.68 万吨，同比减少 18.3%；进口额 0.95 亿美元，同比减少 23.8%，平均价格为 984 美元/吨，同比下降 6.8%。

其中，从欧盟进口 4.8 万吨，占 49.5%，同比减少 15.3%；新西兰进口 3.72 万吨，占 38.5%，同比减少 10.7%；澳大利亚进口 1.06 万吨，占 10.9%，同比减少 43.6%。

3 月中国共进口包装牛奶 3.22 万吨，同比减少 15.4%，进口额 0.32 亿美元，同比减少 19.2%，平均价格为 1004 美元/吨，同比下降 4.5%。

其中，从欧盟进口 1.52 万吨，占 47.4%，同比减少 11.3%；新西兰进口 1.29 万吨，占 40.3%，同比增加 9.4%；澳大利亚进口 0.35 万吨，占 10.9%，同比减少 57.9%。

Table 3-1 中国进口包装牛奶

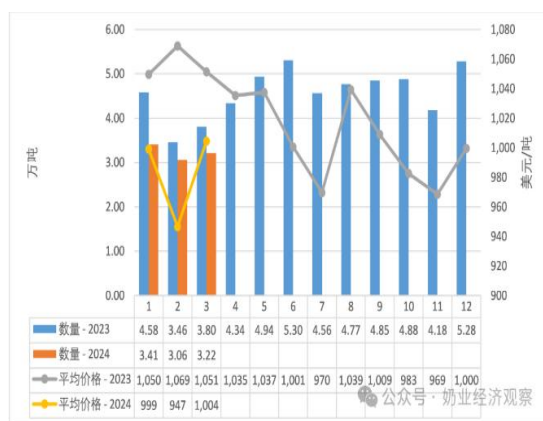
2024 年 1 季度

单位：万吨

国家（地区）	2024 年 3 月			2024 年 1 季度		
	数量	占比%	同比%	数量	占比%	同比%
国家合计	3.22	100.0	-15.4	9.68	100.0	-18.3
欧盟	1.52	47.4	-11.3	4.80	49.5	-15.3
新西兰	1.29	40.3	9.4	3.72	38.5	-10.7
澳大利亚	0.35	10.9	-57.9	1.06	10.9	-43.6
韩国	0.02	0.7	-48.8	0.06	0.7	-35.1
俄罗斯联邦	0.01	0.4	-	0.02	0.2	771.3
欧盟合计	1.52	47.4	-11.3	4.80	49.5	-15.3
德国	1.13	35.2	-9.7	3.34	34.5	-19.49
波兰	0.19	5.9	-14.2	0.87	9.0	2.76
比利时	0.07	2.3	-35.6	0.21	2.1	-23.32
法国	0.07	2.1	224.5	0.15	1.5	119.29
奥地利	0.01	0.4	-61.3	0.08	0.8	-33.76

Figure 3-4 包装牛奶月度进口量

2023~2024



3.1.3 稀奶油1季度进口+3.6%至6.51万吨，价格同比-9.4%

据中国海关统计，2024 年 1 季度中国共进口稀奶油 6.51 万吨，同比增加 3.6%；进口额 2.41 亿美元，同比减少 6.1%，平均价格为 3698 美元/吨，同比

下降 9.4%。

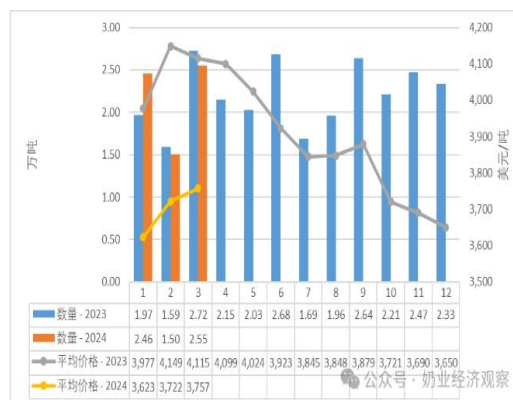
其中，从新西兰进口 4.21 万吨，占 64.6%，同比增 2.5%；欧盟进口 1.84 万吨，占 28.3%，同比增 7.2%；英国进口 0.33 万吨，占 5%，同比减 1.4%。

3 月中国共进口稀奶油 2.55 万吨，同比减少 6.3%，进口额 0.96 亿美元，同比减少 14.4%，平均价格为 3757 美元/吨，同比下降 8.7%。

其中，从新西兰进口 1.49 万吨，占 58.4%，同比减少 21.4%；欧盟进口 0.91 万吨，占 35.8%，同比增加 32.3%。

Figure 3-5 稀奶油月度进口量

2023~2024



3.1.4 酸奶类1季度进口-37%至0.29万吨，价格同比+20.4%

据中国海关统计，2024 年 1 季度中国共进口酸奶类 0.29 万吨，同比减少 37%；进口额 0.08 亿美元，同比减少 24.2%，平均价格为 2656 美元/吨，同比上涨 20.4%。

其中，从欧盟进口 0.26 万吨，占 88.9%，同比减少 33.6%。

3月中国共进口酸奶类0.13万吨，同比减少35.8%，进口额0.03亿美元，同比减少28.3%，平均价格为2704美元/吨，同比上涨11.7%。

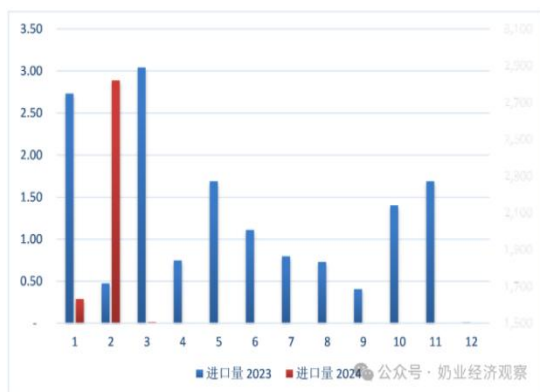
其中，从欧盟进口0.12万吨，占93.4%，同比减少25.4%。

04 遗传物质贸易

种牛进口

Figure 4-1 中国活牛（月度）进口
2023~2024

单位：万头



4.1.1 活牛1季度进口-48.9%至3.19万头

据中国海关统计，2024年1季度中国共进口活牛3.19万头，同比减少48.9%；进口额0.5亿美元，同比减少67.6%，平均价格为1583美元/头，同比下降36.5%。

其中，从澳大利亚进口3.16万头，占99.1%，同比增加5%。3月份仅进口145头牛，全部来自老挝。

牛冻精进口

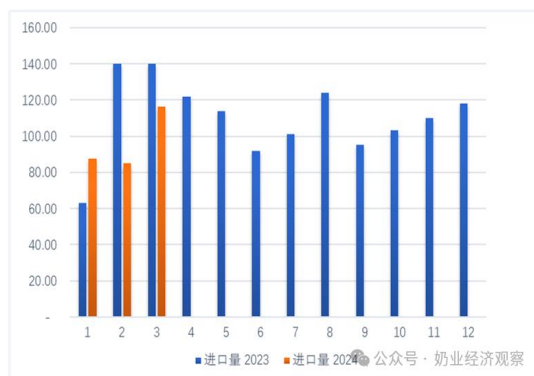
4.2.1 冻精1季度进口-15.9%至288.95万头，价格同比-21.2%

据中国海关统计，2024年1季度中国共进口冻精288.95万头，同比减少15.9%；进口额0.19亿美元，同比减少33.8%，平均价格为6美元/头，同比下降21.2%。

其中，从美国进口243.92万头，占84.4%，同比减少15.8%；欧盟进口45.03万头，占15.6%，同比减少2.5%；总计进口288.95万头，占100%，同比减少15.9%。

Figure 4-2 中国牛冻精（月度）进口
2023-2024

单位：万剂



05 牧草及饲料原料

干草进口

据海关统计，2024年1季度，我国进口干草累计36.18万吨，同比增长2.9%，进口金额13814.22万美元，同比下降32.7%，平均到岸价381.85美元/吨，同比下跌34.5%。

5.1.1 进口苜蓿：2024年1季度31万

吨，同比-8%

据中国海关统计，2024 年 1 季度月进口苜蓿干草 30.67 万吨，同比下降 8.0%，进口金额 11866.18 万美元，同比下降 39.7%，平均到岸价 386.85 美元/吨，同比下跌 34.5%。

Figure 5-1 进口苜蓿主要来源国分布
2024 年 1 季度

单位：万吨

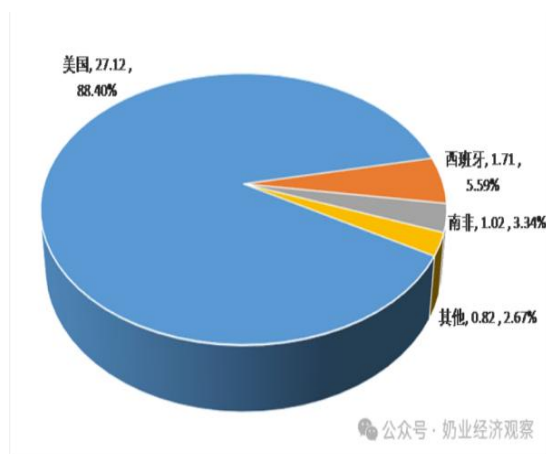
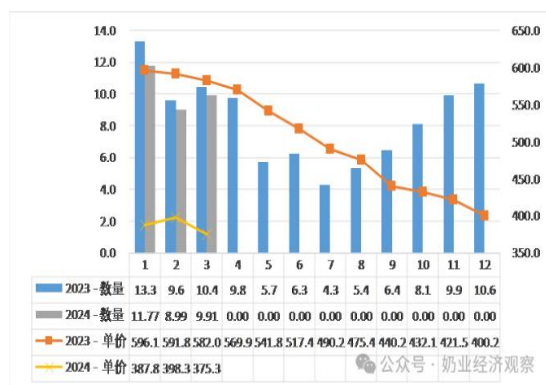


Figure 5-2 我国苜蓿草月度进口
2023~2024

单位：万吨、美元/吨



从进口来源国看，苜蓿干草进口主要来自美国 27.12 万吨，占比 88.4%，同比下降 1.0%，进口金额 10748.59 万美元，同比下降 35%，进口价格 396.38

美元/吨，同比下跌 34.3%；西班牙 1.71 万吨，占比 5.6%，同比下降 3.1%，进口金额 505.79 万美元，同比下降 46%，进口价格 295.19 美元/吨，同比下跌 44.2%；南非 1.02 万吨，占比 3.3%，同比下降 69%，进口金额 359.64 万美元，同比下降 79.3%，进口价格 351.53 美元/吨，同比下跌 33.4%。

此外，从苏丹、加拿大、罗马尼亚、阿根廷、哈萨克斯坦等国少量进口。

3 月进口苜蓿干草 9.9 万吨，下降 5.2%，均价 375.3 美元/吨，同比下跌 35.5%。

3 月，我国进口苜蓿干草 9.91 万吨，同比下降 5.2%，金额 3719.57 万美元，同比下降 38.8%；平均到岸价 375.3 美元/吨，环比下跌 5.8%，同比下跌 35.5%。

主要来自美国 8.3 万吨，占比 83.8%，同比下降 3%，进口金额 3242.96 万美元，同比下降 36.4%，进口价格 390.58 美元/吨，同比下跌 34.4%；西班牙 0.67 万吨，占比 6.8%，同比增长 70.4%，进口金额 187.63 万美元，同比下降 9.3%，进口价格 279.88 美元/吨，同比下跌 46.8%；南非 0.56 万吨，占比 5.7%，同比下降 51.8%，进口金额 189.71 万美元，同比下降 68.8%，进口价格 336.18 美元/吨，同比下跌 35.2%；

罗马尼亚 0.3 万吨, 占比 3.0%, 金额 76.21 万美元, 进口价格 252.8 美元/吨。加拿大少量进口。

5.1.2 进口燕麦草: 2024 年 1 季度 5.5 万吨, 增 202%

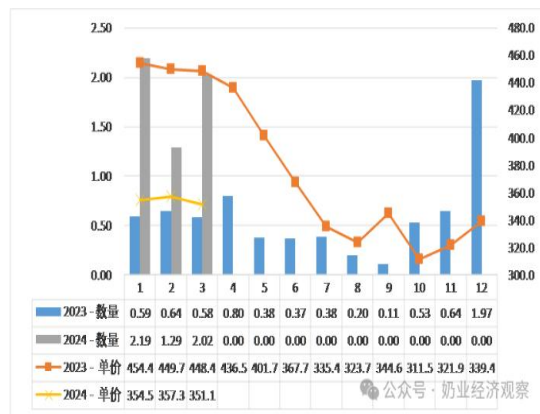
据海关统计, 1 季度, 我国进口燕麦干草累计 5.50 万吨, 同比增长 202.4%, 进口金额 1947.69 万美元, 同比增长 137.3%, 平均到岸价 353.87 美元/吨, 同比下跌 21.5%; 其中 3 月进口 2.02 万吨, 同比增长 247.6%, 金额 708.87 万美元, 同比增长

172.1%, 平均到岸价 351.1 美元/吨, 环比下跌 1.7%, 同比下跌 21.7%。

Figure 5-3 中国燕麦草月度进口

2023-2024

单位: 万吨、美元/吨



中国营养学会发布《乳糖不耐受与科学饮奶专家共识》

中国乳业

5月12日, 以“奶豆添营养, 少油更健康”为主题的第10届全民营养周正式启动。针对国人乳制品摄入不足的现状, 由中国营养学会专家组编写的《乳糖不耐受与科学饮奶专家共识》(以下简称“共识”)正式发布, 为国民正确认识乳糖, 科学饮奶提供权威指导。

共识指出, 我国人群乳及乳制品的消费量不到推荐量的1/10, 究其原因, 是因为我国居民对乳糖不耐受/乳糖吸收不良的认识存在一定误区。但乳糖有自身的营养价值, 居民饮食中

盲目排除乳糖会导致健康获益减少。建议饮奶不适人群可以通过选择低乳糖乳制品、补充益生元/益生菌/乳糖酶等其他方式以缓解相关症状, 也可以通过控制单次乳制品摄入量、与其他食物一起食用、逐步加量等方法科学饮奶。

根据新版《中国居民膳食指南(2022)》权威推荐, 每人每日应摄入奶及奶制品300~500克。但受遗传基因、饮奶历史、饮奶习惯等多重因素影响, 国人饮奶量始终不足。

《2015~2017年中国居民营养与健康状况监测报告》显示，中国城乡居民平均每人摄入乳制品仅为25.9g/天，不到推荐量的1/10。



专家共识发布仪式

正确认识乳糖，国民科学饮奶



中国营养学会理事长杨月欣教授致辞

中国营养学会理事长杨月欣教授表示：“乳制品有不可替代的营养价值，提升乳制品摄入量是今年全营养周核心主题之一。在日常的膳食当中注意摄入足量乳制品，可以保证钙和优质蛋白的摄入，对健康有许多积极作用。但由于对乳糖存在认知误区，很多国人在日常饮食中对乳制品采取盲目回避态度，再加上长期饮食习惯

影响，导致国人乳制品摄入量不足，从而错失优秀的营养来源。为此，中国营养学会组织专家组基于大量国内外科学文献，编制了这份共识。相信共识的发布能够帮助更多国人重新认识乳糖，并建立科学饮奶观，将喝奶纳入一日三餐，提高国人饮奶量。”共识指出，乳糖与其他糖相比可以更好地促进营养吸收和支持肠道健康，出现乳糖不耐受的症状的人群，也无需盲目回避牛奶中的乳糖。



中国营养学会秘书长韩军花教授

中国营养学会秘书长韩军花教授在对共识进行细致解读时进一步强调：“由于乳糖对营养素的吸收和肠道健康具有重要作用，基于用进废退的理论，大多数情况下，乳糖不耐受人群无需完全回避乳糖。可以通过选择低乳糖乳制品、补充益生元/益生菌/乳糖酶等其他方式以改善乳糖不耐受症状，也可以通过控制单次乳制品摄入量、逐步加量、与其他食物一起食用等。”

2024畜牧业行业研究报告节选

商启产业研究院

畜牧业的定义：是指用放牧、圈养或者二者结合的方式，饲养畜禽以取得动物产品或役畜的生产部门。

畜牧业的定义：畜牧业是利用畜禽等已经被人类驯化的动物，或者鹿、麝、狐、貂、水獭、鹌鹑等野生动物的生理机能，通过人工饲养、繁殖，使其将牧草和饲料等植物能转变为动物能，以取得肉、蛋、奶、羊毛、山羊绒、皮张、蚕丝和药材等畜产品的生产部门。



畜牧业的特点：畜牧业的主要特点是集中化、规模化、并以营利为生产目的。

畜牧业与自然界：畜牧业是人类与自然界进行物质交换的极重要环节。

畜牧业与农业：畜牧业是农业的组

成部分之一，与种植业并列为农业生产的两大支柱。

整体来看，中国乳制品消费近年保持增长态势。

2016年以来，我国乳制品产量整体呈现波动变化的趋势，2018年降至近年来最低点，随后产量开始回升。近两年我国乳制品产量保持稳定增长，预计2025年超3300万吨。

我国乳制品市场发展多年，在2005年就达到了千亿的规模，之后规模更是迅速扩大。从零售收入来看，2021年中国乳制品市场收入达5000亿元，未来五年我国乳制品市场仍然将稳步发展，预计到2025年，我国乳制品零售规模有望突破6300亿元。

乳制品市场规模及未来预期

中国乳制品行业规模稳步增长，未来市场空间巨大

近年来，我国乳制品行业的发展速度很快，但我国的乳制品人均消费量与世界平均水平差距还很大。发展中国家乳制品消费的显著特点是人均年消费水平较低，这对于世界上最大的发展中国家——中国，乳制品消

费市场潜力巨大。根据欧睿咨询数据显示,到2025年我国乳制品市场规模将达到8100亿元。

放时间优势、市占率广、可针对性布局等优势更加凸显,随着全面健康意识的不断提升,对常温奶市场规模提升有着较大帮助。



乳制品市场规模及未来预期



常温奶市场规模

常温奶仍是消费主力,其市场规模稳步发展

近几年,随着常温奶市场规模增长速度有所放缓,乳企对于常温奶的重视程度似乎在降低。而随着疫情影响和消费习惯的改变,常温奶品类的优势再次显现,消费者饮奶意识空前加强,业内预测常温奶整体市场规模已达到1000亿元。

营养优势、品类多元化优势、存

低温奶市场规模

乳制品持续升温,低温奶跑出黄金赛道

低温奶的行业增速高于常温白奶,2015~2019年的低温奶的复合增速为9.2%,常温白奶的复合增长率为6.3%。预计2025年我国低温奶市场规模将逼近500亿元。

低温奶赛道的高热度吸引了中国知名乳企,伊利、蒙牛、三元和新希望等乳企争“鲜”布局。随着低温奶市场呈现快速增长,如何提供更高品质、更新鲜的低温奶制品,打造完善的冷链供应链体系已经成为各大乳企突围制胜的关键。此外,反复的疫情使得消费者重新审视了食物健康的重要性,乳制品活性营养功能逐渐被消费者熟知,低温奶或将成为常温乳企扩

大市场份额的突破口。



牛羊奶市场规模

羊奶营养效用的不断普及，消费者认知的不断加强，市场渗透率将持续提高

长期以来，以牛乳为原料的奶粉占据奶粉的绝对统治地位。但随着消费需求和供给结构的变化，近年来，羊奶粉的生产和销售显著增长，引起愈来愈多的关注。数据显示，我国羊奶制品市场规模由2016年56亿元增至2019年122亿元，年均复合增长率为29.6%。中商产业研究院预测，预计2025年我国羊奶制品市场规模可达259亿元。

牛奶产业市场规模呈稳步增长态势未来预期可观

根据数据显示，我国牛奶产业呈现稳步增长的趋势，从2015年的1062亿元至2021年的1240亿元，预计2025年将达到1373亿元，未来可期。



奶牛养殖规模及产能

2020年存栏回补产能释放至少在2022年之后，预计原奶紧缺情况将持续

根据USDA报告，中国奶牛存栏量自2015~2019年明显下降，2019年达到最低点610万头；我们认为奶牛存栏量降低的主要原因是前期原奶价格较低导致低产小牧场逐渐退出；规模化、高产大牧场占比提升使奶牛单产被动拉升。2020年国内奶牛存栏略微回升，达到615万头。预计2025年达到640万头。



奶牛养殖规模及产能

根据奶牛的生命周期，假设最早于2020年1月开始的存栏回补，其产能释放至少要在22个月之后，即2021年

底开始释放产能；同时由于疫情影响，国外市场疲软，进口奶牛年龄越来越小，将此轮奶价上升周期拉长，因此我们认为近年原奶供应将持续紧缺。中国大型规模化牧场正逐渐占据主导地位。

2015年，千头以上规模的大型牧场养殖的奶牛占全国奶牛总数的23.6%，2020年达到43.5%，根据弗若斯特沙利文预测，2025年千头牧场养殖的奶牛预计将占中国奶牛存栏总量的55.5%。



奶牛养殖规模及产能

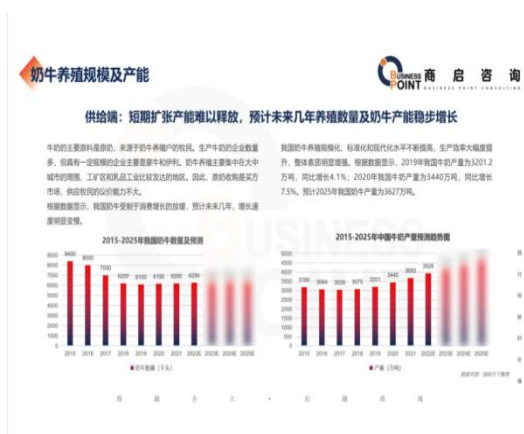
供给端：短期扩张产能难以释放，预计未来几年养殖数量及奶牛产能稳步增长。

牛奶的主要原料是原奶，来源于奶牛养殖户的牧民。生产牛奶的企业数量多，但具有一定规模的企业主要是蒙牛和伊利。奶牛养殖主要集中在大中城市的周围、工矿区和乳品工业比较发达的地区。因此，原奶收购是

买方市场，供应牧民的议价能力不大。

根据数据显示，我国奶牛受制于消费增长的放缓，预计未来几年，增长速度明显变慢。

我国奶牛养殖规模化、标准化和现代化水平不断提高，生产效率大幅度提升，整体素质明显增强。根据数据显示，2019年我国牛奶产量为3201.2万吨，同比增长4.1%；2020年我国牛奶产量为3440万吨，同比增长7.5%。预计2025年我国奶牛产量为3627万吨。



竞品分析

奶粉市场现状：品类众多 市场规模逐年上升。

奶粉是将牛奶除去水分后制成的粉末，它适宜保存。奶粉是以新鲜牛奶或羊奶为原料，用冷冻或加热的方法，除去乳中几乎全部的水分，干燥后添加适量的维生素、矿物质等加工而成的冲调食品。

据了解，目前市场上将奶粉分为六大种类，包括全脂奶粉、脱脂奶粉、

速溶奶粉、加糖奶粉、幼儿奶粉以及特殊配制奶粉。

到 1963 亿元。



奶粉市场前景预测

与普通乳制品日常消费不同的是，奶粉是有更高技术壁垒，且功能属性极强的高毛利产品。随着“三聚氰胺”事件的曝光，奶粉行业多年高速扩张带来的品质问题全部爆发出来，国内消费者对国产奶粉的消费信心降至“冰点”，国产奶粉陷入了信任危机，转而投向进口奶粉，近几年慢慢恢复。

根据 Euromonitor (欧睿) 数据显示，我国奶粉市场呈稳步增长趋势，2021 年我国奶粉市场规模约达

国产当自强

预计2026年市场规模突破3000亿元

目前国产奶粉正在逐步高端化，从奶源质量、品牌营销形象等方面层层把关，并有效借助营销塑造高端的产品形象，打入高端奶粉消费市场。除此之外，2019年6月3日，国家发展改革委等7部门发布了关于《国产婴幼儿配方乳粉提升行动方案》的通知，提出力争婴幼儿配方乳粉自给水平稳定在60%以上，《行动方案》明确提出国产奶粉市占率目标，预期国产奶粉企业发展将得到提振，到2026年中国奶粉行业市场规模或将突破3000亿元。

云南省农业农村厅到个旧调研奶业产业集群项目发展情况

锡都三农

4月12日上午，云南省农业农村厅畜牧兽医处副处长查明恒带领调研

组，到个旧调研奶业产业集群项目发展情况，红河州农业农村局副局长张安祥，

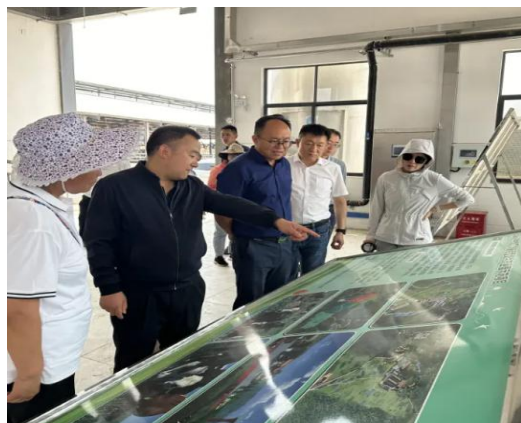
个旧市副市长陈勇，个旧市农业农村局相关负责人员陪同。



调研组一行前往云南乍甸乳业有限责任公司，参观考察了乳制品加工车间、牛奶小镇、棚旧标准化奶牛养殖基地建设，召开座谈会听取个旧市奶业产业集群项目情况汇报，与相关负责人深入交流，详细了解奶牛养殖、乳产品研发及销售情况，对项目发展规划及推进情况进行研讨，并对第五批奶业休闲观光牧场——牛奶小镇复查审核。

调研组指出，要充分发挥乍甸乳业奶牛养殖历史优势和国家级龙头企业示范带头作用，辐射带动当

地奶牛养殖业；要充分整合资源，加强行业交流合作，按照全产业链发展理念，强龙头、补链条、树品牌，加快打造乳制品产业链；要加快推进项目建设，助推奶业一二三产业发展，促使个旧市奶业优势特色产业集群化发展。



【安格斯◆专访】毛华明：云南肉牛产业未来发展之路

荷斯坦

云南肉牛产业如何发展？——保护本地品种 推广杂交品种

采访对象：



毛华明 云南农业大学 教授 云南省反刍动物工程技术研究中心主任

安格斯：目前云南肉牛牛群的主体是什么？

毛华明教授：现在云南肉牛牛群主体由本地牛和杂交牛组成。本地牛存栏占存栏总数将近 50%。

本地牛存栏主要分布三个区域。第一个地区是云南的高原地区，比如说香格里拉的牦牛和迪庆牛。第二个区域是云南的热带亚热带地区，像西双版纳、普洱、临沧等地区，主要有云南高峰牛、江城黄牛、红河牛、文

山牛，以及德宏水牛、滇东南水牛等等。第三个区域就是边远山区。杂交牛存栏占总存栏 50%多一点。

杂交牛存栏主要分布在社会经济比较发达的地区，杂交牛又以西门塔尔为主体，除西门塔尔杂交牛之外，还有短角牛、安格斯牛等。



滇东南水牛

安格斯：云南牛存栏全国第一，2023 年达到 897.4 万头，占全国 8.5%，是全国肉牛产业的重要省份，您认为云南发展肉牛产业主要的优势是什么？

毛华明教授：云南发展肉牛产业的优势主要有以下四点。

第一，存栏量达到 897.4 万头，

居全国第一，较大的牛群数量为产业发展提供了足够的基础。截至 2022 年，云南省超过 100 万头的地区有 3 个，分别是曲靖 123.4 万头，文山 113.1 万头，红河 104 万头；存栏超过 10 万头的县有 28 个。

第二，牛品种资源丰富，目前云南共有 5 个种 17 个品种，在申报新资源 2 个，共 19 个，也是全国第一。

牦牛：中甸牦牛

大额牛：独龙牛

水牛：槟榔江水牛、德宏水牛、盐津牛、滇东南水牛

普通牛：迪庆牛、邓川牛、昭通牛、滇中牛、云南高峰牛、江城黄牛、文山牛

培育品种：云岭牛

引进牛：短角牛、婆罗门牛、西门塔尔

新资源：红河牛、云南瘤牛



云南瘤牛

第三，有大量的草山、草坡、秸秆等丰富的饲草资源。云南超过 1 万

亩的草山、草坡数量达到 17 块。云南很多地区肉牛养殖具备放牧条件，为低成本生产牛肉创造了条件。

第四，生态环境比较好。为我们云南打造高品质牛肉，特别是具有云南特色的高品质、高档肉牛的产业发展建立了很好的基础。



云南瘤牛

安格斯：云南牛存栏全国第一，牛肉产量全国第七仅为 47.9 万吨，牛存栏量很大但牛肉产量不多，您认为这其中存在哪些问题呢？

毛华明教授：发展牛肉产业的目的只有一个就是产肉，因此肉牛生产中有一个综合生产力的评价，也就是每存栏一头牛产肉的潜力，这个综合生产力排名的话，云南是排到了第 23 位，按此指标计算，云南存栏一头牛仅产牛肉 57.3 公斤，全国第一位的省份，内蒙古存栏一头牛产牛肉达到 109.1 公斤，差距非常大，造成这个被动局面的主要原因有以下两个：

第一，出栏率低。云南牛的饲养

周期过长，特别是地方品种牛的饲养周期，黄牛可能要4~5岁才能出栏，水牛、牦牛还要更长，导致了云南肉牛的出栏率比较低。

第二，胴体重量小。特别是本地牛，一头牛屠宰后胴体重量也就在100多公斤，加上杂交牛，云南肉牛平均屠宰后的胴体重大概就是不到130公斤。出栏率低、胴体重小，是造成产肉量低的最根本原因。



槟榔江水牛

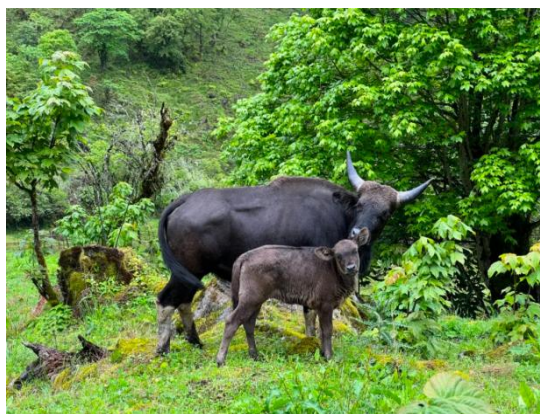
安格斯：云南未来肉牛发展是以地方品种为主，还是以引进品种为主，关于这个问题争论非常激烈，您的观点是怎样的？

毛华明教授：肉牛产业发展如果仅从增加牛肉产量这个角度来看的话，肯定是要以国外引进牛品种为主，通过对引进牛的纯繁，更多的是通过不同层级的杂交，可以快速增加牛肉产量。引进品种牛个大、生长速度快，饲养周期短、胴体重和产肉率都优于地方品种。引进品种能够生产更多的

牛肉，来满足广大居民对牛肉数量的需求，同时也能满足养牛户对更高收入的需求、缓解我国牛肉供不应求的局面。

但是对云南肉牛产业而言，我们拥有大量的地方品种，怎么充分发挥这些地方品种的优势？解决云南肉牛发展母牛供应不足的问题，是云南肉牛产业发展面临的现实问题，也是云南肉牛产业未来发展必须认真思考和实事求是解决的重大问题，我认为可以从以下两个方面入手。

一方面，发展云南肉牛我们可以以地方牛为基础，引入其他品种来杂交，通过多代的杂交，解决牛个头小、胴体重低、出肉率低的问题，在稳定和适当减少存栏量的基础上增加牛肉产量，解决大众吃肉的问题，同时也在一定程度上解决云南当地长期存在的母牛不足的问题。



独龙牛

另一方面，我们要客观冷静地看待云南本地牛品种，这些传统地方品

种有很多的特点，也存在一定的市场优势。例如，云南地方牛的肌纤维很细，牛肉嫩、香，有特别的口感和滋味，很受市场欢迎，有市场竞争力。但是云南的地方品种也存在严重的缺陷，不容忽视。主要表现在很多品种体重小、生长周期慢、胴体重低，产肉率低。要保护发展云南肉牛的地方品种，未来只能更多的往优质优价的方向发展。目前我们发展地方品种的重要方向是尝试生产高档牛肉推向市场，这些尝试已经得到市场的积极回应，充分说明云南地方品种走优质优价高档特色的方向是有发展潜力的。



中甸牦牛

安格斯：未来云南如果引进品种改良当地品种，您认为主要是西门塔尔还是安格斯？

毛华明教授：云南现在和将来引进牛品种改良地方品种，将主要选择什么品种，我认为需要从以下两个方面考量。第一是生产条件和地理环境。云南的

地理位置、海拔、气候都比较复杂，发展肉牛品种不能一概而论，要根据各地具体条件因地制宜。

云南的热带地区，可以用婆罗门、云岭牛进行杂交，保证它的适应性。

云南农区条件好的地区，可以引进大型品种进行杂交，例如夏洛莱、比利时蓝，来进一步提高牛的生产性能。



江城黄牛

第二是云南肉牛产业的发展方向。不同地区必须以市场为导向，选择不同的品种作为改良的方向。

首先必须明确是生产的牛肉是大众消费？还是高档特色牛肉？根据当地的自然环境条件，明确终端市场的需求，才能根据市场需求制定引进和品种改良方向。

市场定位不同，引进的品种也不一样，例如我们要生产高端的牛肉，需要提高肌间脂肪含量，这样可能需要多用安格斯进行杂交改良。如果只是为了增加肉产量，终端父本可以考

虑夏洛莱、比利时蓝等大型品种。

总之，引进的品种，还是要结合当地的情况，以及发展的方向来决定，并不是固定的。



红河牛

安格斯：云南肉牛产业发展，总体定位是什么？

毛华明教授：从云南的资源条件，牛的存栏、市场条件来看，我们的肉牛产业长期发展要定位外向型。

云南本地的牛肉消费量很大，目前我们还需要从外地调牛来满足我们自身的需求，未来我们要逐步实现

自繁自养的；同时我们要继续推进我们高端牛肉的路线，向外输出，尤其是两广市场，用我们高档、生态、有机的牛肉产品，为我们云南牛肉走出一条特色发展之路。



云南省现代农业奶牛产业技术体系 2023年度工作总结会议召开

奶水牛饲养管理岗位 李清

云南省现代农业奶牛产业技术体系2023年度工作总结会议暨2024年工作计划于2024年3月29日~2024年4月1日在鹤庆举行，会议由现场调

研欧亚牧场、鹤庆荷斯坦牧业2个牧场及总结会的方式进行。云南省农业农村厅科技教育处蔡晓琳处长、云南省畜牧总站刘红文研究员、鹤庆县农业

农村局王治康局长、畜牧站赵六一站长参加会议。



会议由体系首席科学家毛华明教授主持，首先王治康局长致欢迎词，会议听取了7位岗位专家和11位试验站任务完成情况、工作亮点和今后打算。毛华明首席科学家总结了2009年体系开展以来已取得的成效，围绕云南奶业发展对各岗位专家和试验

站明确了工作重点。最后蔡晓琳处长对奶牛产业体系多年来开展的工作给予了充分肯定，并对体系工作提出了具体要求。



奶水牛饲养管理岗位李清正高级实验师就2021年岗位成立以来所做的工作及取得的成效作了汇报，在毛华明教授的主持下与会人员就当前云南省奶水牛的发展展开了充分的研讨。

种质提升及乳品多元化促进我省奶水牛发展

奶水牛饲养管理岗位 李清

奶水牛产业作为我省重要的畜牧业产业之一，对于我省乳制品生产和

畜牧业发展起着至关重要的作用。然而，如何保证及提高奶水牛的质量及扩大市场消费，以保障我省奶水牛的数量及促进我省奶水牛业发展是当前亟待解决的问题。

2024年4月28日~2024年5月5日，由云南省奶牛产业技术体系首席科学家毛华明教授带队，奶水牛饲养管理岗位专家李清正高级实验师、乳品加工岗位专家黄艾祥、体系办公室李永强教授等一行6人到腾冲市和德宏州实地进行奶水牛养殖及乳品生产及销售的调研及指导，并结合座谈方式对奶水牛种质和产品加工和生产方面存在的突出问题进行充分讨论。

技术创新是奶水牛产业持续发展的重要动力。在不断采用科学的养殖技术和管理方法，提高养殖效率和产品质量的同时，需要通过优良冻精和胚胎移植技术改良培育高产奶水牛品种，提高奶水牛的产奶量和品质。市场需求是奶水牛产业发展的重要保障。在保证乳品质的基础上应发展多元化奶制品才能拓展消费群体，为奶水牛产业提供广阔的市场空间。而政府对奶水牛产业的支持力度是促进奶水牛产业健康发展的基本保障。



德宏



腾冲



不同饲粮粗蛋白质水平对槟榔江水牛泌乳性能的影响

李安润¹ 陈艳美² 文泽芳¹ 张丽娟¹ 姜丰¹ 黄琴¹ 张瑞云¹ 史建伟²

金贞³ 张敏⁴ 余四娜⁵ 毛华明^{1*} 李清^{1*}

(1. 云南农业大学动物科学技术学院, 云南省动物营养与饲料重点实验室 2. 云南省草地动物科学研究院 3. 陇川县科学技术协会 4. 个旧市畜牧技术推广站 5. 福贡县农业农村局)

摘要: 本试验旨在探究不同饲粮粗蛋白质水平对槟榔江水牛泌乳性能的影响。试验采用单因素完全随机区组设计, 将 21 头健康、年龄 $[(6.3 \pm 2.75)$ 岁]和胎次 $[(3.141.56)$ 胎]相近, 且上胎产奶量相近的槟榔江水牛随机分为 3 个组 (每组 7 头), 分别饲喂低粗蛋白质水平 (9.5 %)、中粗蛋白质水平 (12.5 %) 和高粗蛋白质水平 (14.8 %) 的全混合日粮。预试期 7d, 正试期 273 d, 结果表明: 随着饲粮粗蛋白质水平的提高, 槟榔江水牛泌乳性能相关指标均有一定变化, 其中 14.8 %粗蛋白质组泌乳期日均产奶量、平均产奶量以及乳蛋白、乳非脂固形物和乳尿素氮含量均显著高于 9.5 %粗蛋白质组($P < 0.05$), 而 9.5 %和 12.5 %粗蛋白质组间上述指标差异不显著($P > 0.05$); 随着泌乳时间的增加, 12.5 %和 14.8 %粗蛋白质组乳脂含量基本都呈现为先降低后升高的变化趋势, 9.5 %粗蛋白质变化规律不明显, 但 3 组泌乳末期乳脂含量都比泌乳初期高, 且 12.5 %粗蛋白质组乳脂含量最高, 为 7.84 %; 3 组平均泌乳天数、乳脂蛋白比以及乳脂、乳糖和乳总固形物含量差异均不显著($P > 0.05$)乳脂蛋白比、乳糖和乳总固形物含量变化不大; 12.5 %粗蛋白质组乳体细胞数显著高于 9.5 %和 14.8 %粗蛋白质组($P < 0.05$)。由此可知, 饲粮粗蛋白水平从 9.5 %提高至 14.8 %可显著提高槟榔江水牛产奶量以及乳蛋白、乳非脂固形物和乳尿素氮含量, 但对泌乳天数和乳脂、乳糖、乳总固形物含量以及乳脂蛋白比无显著影响。

关键词: 泌乳性能; 槟榔江水牛; 粗蛋白质水平

槟榔江水牛是我国唯一的河流型水牛品种。调查发现, 槟榔江水牛个体参差不齐, 无论是产奶量、乳成分还是繁殖性能均存在很大差异, 其日产奶量 (4.04 kg/d) 虽然高于在我国饲养的部分河流型乳用摩拉水牛及尼里-拉菲水牛, 但与其他国家相比, 仍处于较低水平, 无论是个体还是群体产奶量都存在较大发展空间。奶牛泌乳性能除了受品种、个体等遗传因素影响外, 还受饲养管理、营养水平、产犊季节、泌乳季节、年龄及胎次等非遗传因素影响, 其中饲料营养水平是影响奶牛泌乳性能的关键因素, 而饲料粗蛋白质 (CP) 水平是造成奶牛个体及群体泌乳性能差异的主要原因。研究表明, 荷斯坦奶牛饲料粗蛋白质水平从 10% 提高到 12% 以上, 可显著提高产奶量; 当荷斯坦奶牛的日产奶量在 30 kg/d 以下时, 适宜的饲料粗蛋白质水平为 $12\% \sim 14\%$, 当日产奶量在 30 kg/d 以上时, 适宜的饲料粗蛋白质水平为 $14\% \sim 17\%$ 。而奶水牛对饲料中粗蛋白质的利用率比荷斯坦奶牛要高。Lakhani 等和 Pasha 研究认为, 泌乳水牛的适宜饲料粗蛋白质水平可能等于或低于 12% ; 绝大多数人研究认为, 泌乳水牛的饲料粗蛋白质水平为 $9.26\% \sim 14.40\%$; Santillo 等和

Gaafar 等研究表明, 泌乳水牛饲料粗蛋白质水平从 12% 提高到 16% 时, 能显著提高奶水牛日产奶量以及乳蛋白和乳总固形物含量, 乳脂和乳糖含量略有升高, 但差异不明显; 而 Bartocci 等调查表明, 对于日产奶量为 $7 \sim 12 \text{ kg/d}$ 的水牛, 所需饲料粗蛋白质水平为 $10.2\% \sim 15.2\%$; Bovera 等研究认为, 饲料粗蛋白质水平为 13.65% 可维持泌乳晚期 (日产奶量为 $8.20 \sim 9.85 \text{ kg/d}$) 奶水牛营养需要, 较高的粗蛋白质摄入没有导致产奶量提高。目前, 国内关于奶水牛饲料粗蛋白质水平的研究较少。总的来说, 国外奶水牛的日产奶量为 $7 \sim 15 \text{ kg/d}$, 饲料粗蛋白质水平为 $10\% \sim 16\%$; 日产奶量为 10 kg/d 的奶水牛, 饲料粗蛋白质水平为 9% 不能满足其需求; 日产奶量为 $8.20 \sim 9.85 \text{ kg/d}$ 时, 饲料粗蛋白质水平为 13.65% 可维持泌乳晚期奶水牛营养需要; 日产奶量为 $7 \sim 12 \text{ kg/d}$ 时, 所需饲料蛋白质水平为 $10.2\% \sim 15.2\%$; 若日产奶量继续提高, 可能需要更高的饲料粗蛋白质水平。由此可见, 无论是荷斯坦奶牛, 还是奶水牛, 其适宜的饲料粗蛋白质水平范围较广, 这与试验动物、环境和饲养管理有关。目前, 关于槟榔江水牛的研究主要集中在种质资源的调查研究与评

价、群体遗传特征、选育及保种、个体体尺及生长发育规律以及基因多态性,而关于饲粮营养水平的研究鲜见报道。因此,为获得槟榔江水牛泌乳期适宜的蛋白质需要,提高其泌乳性能,充分发挥其生产潜力,本试验将探究不同饲粮粗蛋白质水平对其泌乳性能的影响,初步确定槟榔江水牛泌乳期适宜的饲粮粗蛋白质水平,为奶水牛的科学饲养提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验时间与地点 试验时间:2017年7月25日—2018年4月31日。

试验地点:云南省腾冲市巴福乐槟榔江水牛良种繁育有限公司。

试验期:参试槟榔江水牛在整个泌乳期

1.2 试验设计及分组

试验采用单因素完全随机区组设计,将21头健康、年龄 (6.33 ± 2.75) 岁和胎次 (3.14 ± 1.56) 胎相近,且上胎产奶量相近的槟榔江水牛随机分为3个组(每组7头),分别饲喂低粗蛋白质水平(9.5%)、中粗蛋白质水平(12.5%)和高粗蛋白质水平(14.8%)的全混合日粮。饲料种类来源及主要原料和营养水平见表1,饲粮组成及营养水平见表2。预试期7d,正试期273d(9个月)。

表1 饲料种类、来源及主要原料和营养水平

Table 1 Feed types, sources, main raw materials and nutrient levels

项目 Items	奶牛精料补充料 2881 Dairy concentrate supplement 2881	奶牛浓缩料 880 Dairy concentrate 880	玉米蛋白粉 Corn protein meal	全株玉米青贮 Whole corn silage
主要原料 Main raw materials	豆粕、菜籽粕、玉米、氯化钠、磷酸氢钙、矿物元素、多种维生素及抗氧化剂等	豆粕、菜籽粕、氯化钠、磷酸氢钙、矿物元素、多种维生素及抗氧化剂等	玉米	全株玉米
来源 Source	昆明田园饲料有限公司	昆明田园饲料有限公司	宁夏伊品生物科技股份有限公司	当地收购
营养水平 Nutrient levels				
干物质 DM/%	89.4	91.4	91.7	33.7
粗蛋白 CP/(% DM)	20.4	40.2	67.2	6.8
粗脂肪 EE/(% DM)	3.6	4.1	1.2	1.2

续表1

项目 Items	奶牛精料补充料 2881 Dairy concentrate supplement 2881	奶牛浓缩料 880 Dairy concentrate 880	玉米蛋白粉 Corn protein meal	全株玉米青贮 Whole corn silage
中性洗涤纤维 NDF/(% DM)	23.2	20.6	20.7	64.4
非纤维碳水化合物 NFC/(% DM)	42.5	13.7	7.2	21.2
产奶净能 NE _L /(MJ/kg)	9.6	9.2	9.2	5.0

产奶净能为计算值其他为实测值表2同

Milk production net energy was a calculated value while the others were measured values. The same as Table 2.

表2 饲粮组成及营养水平

Table 2 Composition and nutrient levels of diets

项目 Items	14.8%粗蛋白组 14.8% CP group	12.5%粗蛋白组 12.5% CP group	9.5%粗蛋白组 9.5% CP group
原料 Ingredients/%			
全株玉米青贮 Whole corn silage	80	80	80
玉米蛋白粉 Corn protein meal	5		
奶牛浓缩料 880 Dairy concentrate 880	15	15	
奶牛精料补充料 2881 Dairy concentrate supplement 2881		5	20
合计 Total	100	100	100
营养水平 Nutrient levels			
干物质 DM/%	45.3	45.2	44.9
粗蛋白 CP/(% DM)	14.8	12.5	9.5
粗脂肪 EE/(% DM)	1.6	1.7	1.6
中性洗涤纤维 NDF/(% DM)	55.6	55.7	56.1
非纤维碳水化合物 NFC/(% DM)	19.4	21.2	25.5
产奶净能 NE _L /(MJ/kg)	5.8	5.8	5.8

1.3 饲养管理

3组试验牛在相同的饲养管理条件下,分别饲养在同一牛舍的3个圈中,每天07:00和16:00各饲喂1次;



试验牛自由采食和饮水，并在每天 06:00 和 17:00 各挤奶 1 次；其他的管理按照牛场常规进行。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 产奶量

每天实际记录每头牛的产奶量，并根据公式计算 7 % 乳脂校正乳（FCM）产量，计算公式为：

$$7\% \text{ FCM 产量} = 0.265 \times a + 10.5 \times b。$$

式中：a 表示实际产奶量（kg/d），b 表示乳脂产量（kg/d）。

1.4.2 泌乳天数

当奶水牛日产奶量低于 2 kg/d 时停止挤奶，从产犊开始到停止挤奶的天数即为每头牛的泌乳天数。

1.4.3 乳成分分析

每月月初采集 1 次奶样，每头牛每次采集 50 mL 奶样放入加有防腐剂（重铬酸钾）的取样瓶中摇匀，根据早晚产奶量按 6 : 4 比例混合，送至昆明市奶牛生产性能测定中心进行测定。乳成分分析包括乳蛋白、乳脂、乳糖、乳总固形物、乳非脂固形物和乳尿素氮含量以及乳体细胞数，测定仪器为 MilkoScanFT-120 乳成分分析仪和 MilkoScanFT+FC 乳成分体细胞联用仪。

1.4.4 饲料营养成分分析

饲料干物质（DM）含量参照 GB/T

6435—2014 测定，粗蛋白质含量参照 GB/T 6432—2018 测定，粗脂肪（EE）含量参照 GB/T 6433—2006 测定，粗灰分（Ash）含量参照 GB/T 6438—2007 测定，钙（Ca）含量参照 GB/T 6436—2018 测定，磷（P）含量参照 GB/T 6437—2018 测定，中性洗涤纤维（NDF）含量参照 GB/T 20806—2006 测定，酸性洗涤纤维（ADF）含量参照 NY/T 1459—2007 测定，酸性洗涤纤维（ADF）含量参照 NY/T 1459—2007 测定，酸性洗涤木质素（ADL）含量参照 GB/T 20805—2006 测定；中性洗涤不溶氮（NDIN）、酸性洗涤不溶性氮（ADIN）和酸性不溶灰分（AIA）含量参照 Mustafa 等、郑会玲和王加启等的方法进行测定。

1.4.5 产奶净能估测

产奶净能以饲料常规营养成分及范氏纤维成分分析的结果，根据 NRC(2021) 的估测公式进行计算。

1.5 拟合曲线

应用 Wood 数学模型不完全伽玛函数模型对日产奶量、采食量和体重的变化进行拟合。拟合基本模型为：

$$y = ax^b e^{-cx}。$$

式中：y 为日产奶量（kg/d），x 为泌乳天

数, a 为规模因子, b 为日产奶量上升率参数, c 为日产奶量下降因子。

当参数 b 为正值, c 为负值时, 该模型可用于日产奶量拟合分析, 此时 a 是泌乳潜力, c 是达到泌乳高峰的速度, b 是从泌乳高峰下降的速度; 当参数 b 为负值, c 为正值时, 该模型适合于乳脂率和乳蛋白率拟合分析, 即模型为 $y=ax-becx$, 此时 a 是泌乳潜力, c 是达到指标最低点的速度, b 是从指标最低点上升的速度。

采用 SPSS 27.0 软件对 3 个组日产奶量进行曲线拟合, 通过曲线拟合所得的 a 、 b 、 c 3 个参数可以进一步估计以下二级参数:

$$\text{泌乳持久力}(P) = -(b+1) \ln c;$$

$$\text{高峰泌乳日}(T_{\max}) = b/c;$$

$$\text{高峰日产奶量}(PY) = a(b/c)^b e^{-b}。$$

1.6 数据处理

采用 Excel 2021 和 SPSS 27.0 软件对试验数据进行分析及作图, 差异显著性检验采用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 和 Duncan 氏法多重比较, 结果用“平均值 $\pm$ 标准误”表示, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同饲料粗蛋白质水平对槟榔江水牛产奶量和泌乳天数的影响

如图 1 所示, 14.8%、12.5% 和 9.5% 粗蛋白质组槟榔江水牛泌乳高峰

期均出现在第 2 泌乳月, 高峰期日产奶量分别为 6.71、6.31 和 5.40 kg/d, 其中 14.8% 粗蛋白质组和 12.5% 粗蛋白质组高峰期日产奶量相差不大, 且都明显高于 9.5% 粗蛋白质组, 但差异均不显著 ($P>0.05$)。

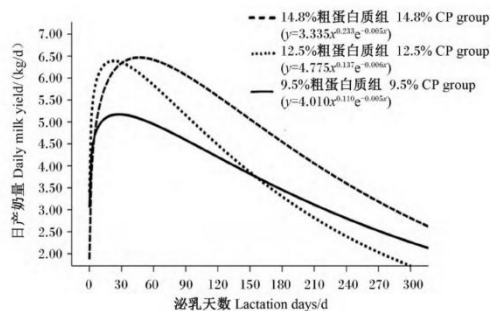


图 1 不同饲料粗蛋白质水平槟榔江水牛日产奶量和泌乳天数曲线图

Fig.1 Curve graph of daily milk yield and lactation days of Binglangjiang buffalo with different dietary CP levels

按照奶水牛产奶量低于 2 kg/d 为停奶标准计算, 由表 3 可知, 14.8%、12.5% 和 9.5% 粗蛋白质组平均泌乳天数分别为 254、234 和 221 d, 但 3 组间无显著差异 ($P>0.05$)。由此可见, 随着饲料粗蛋白质水平从 9.5% 升高到 14.8%, 槟榔江水牛平均泌乳天数有提高的趋势, 且 14.8% 粗蛋白质组泌乳期平均产奶量和日均产奶量均显著高于 12.5% 和 9.5% 粗蛋白质组 ($P<0.05$)。

2.2 不同饲料粗蛋白质水平对槟榔江

水牛乳成分的影响

2.2.1 不同饲料粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳脂含量的影响

由表 4 可知, 14.8 %、12.5 %和 9.5 %粗蛋白质组槟榔江水牛整个泌乳期内乳脂含量平均值分别为 7.65 %、7.84 %和 7.30 %, 且各组间差异不显著 ($P>0.05$)。3 组各泌乳月乳脂含量变化分别为 6.76 %~8.93 %、6.48 %~8.88 %和 5.99 %~8.74 %, 除第 7 泌乳月 12.5 %粗蛋白质组乳脂含量显著高于 9.5 %乳脂含量组 ($P<0.05$) 外, 其余各泌乳月各组间乳脂含量差异均不显著 ($P>0.05$)。此外, 随着泌乳时间的增加, 14.8 %粗蛋白质组和 12.5 %粗蛋白质组乳脂含量基本都呈现出先降低后升高的变化趋势, 9.5 %粗蛋白质组变化规律不明显, 但 3 组泌乳末期乳脂含量都比泌乳初期高。

表 3 不同饲料粗蛋白质水平对槟榔江水牛产奶量和泌乳天数的影响

Table 3 Effects of different dietary CP levels on milk yield and lactation days of Binglangjiang Buffalo

项目 Items	14.8% 粗蛋白组 14.8% CP group	12.5% 粗蛋白组 12.5% CP group	9.5% 粗蛋白组 9.5% CP group
日产奶量 Daily milk yield/(kg/d)			
第 1 泌乳月 First lactation month	5.44±0.22 ^a	6.18±0.10 ^a	5.09±0.10 ^a
第 2 泌乳月 Second lactation month	6.71±0.18 ^a	6.31±0.16 ^a	5.4±0.15 ^a
第 3 泌乳月 Third lactation month	6.01±0.15 ^a	5.21±0.15 ^a	4.28±0.13 ^a
第 4 泌乳月 Fourth lactation month	5.70±0.13 ^a	4.52±0.17 ^a	3.95±0.09 ^a
第 5 泌乳月 Fifth lactation month	5.22±0.15 ^a	3.91±0.16 ^a	3.82±0.12 ^a
第 6 泌乳月 Sixth lactation month	4.43±0.16 ^a	3.77±0.13 ^a	3.63±0.12 ^a
第 7 泌乳月 Seventh lactation month	4.23±0.15 ^a	3.28±0.16 ^a	3.44±0.14 ^a
第 8 泌乳月 Eighth lactation month	3.53±0.14 ^a	2.48±0.1 ^b	2.71±0.13 ^a
泌乳期平均产奶量	1 178.35±195.52 ^a	995.40±133.37 ^a	856.56±176.79 ^a
Average milk yield in lactation/(kg/头)			
平均泌乳天数 Average lactation days/d	254±15	234±21	221±27
泌乳期日均产奶量	5.11±0.26 ^a	4.53±0.21 ^a	4.25±0.10 ^a
Average daily milk yield in lactation/(kg/d)			

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$), 不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

表 4 不同饲料粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳脂含量的影响

Table 4 Effects of different dietary CP levels on milk fat content of Binglangjiang buffalo %

项目 Items	14.8% 粗蛋白组 14.8% CP group	12.5% 粗蛋白组 12.5% CP group	9.5% 粗蛋白组 9.5% CP group
第 1 泌乳月 First lactation month	7.11±0.98	8.43±0.88	6.37±0.39
第 2 泌乳月 Second lactation month	6.76±0.51	6.48±1.02	7.33±0.37
第 3 泌乳月 Third lactation month	7.46±0.20	7.22±0.77	5.99±0.76
第 4 泌乳月 Fourth lactation month	7.50±0.35	7.46±0.90	7.82±0.26
第 5 泌乳月 Fifth lactation month	7.65±0.64	7.50±0.39	7.14±0.54
第 6 泌乳月 Sixth lactation month	8.93±0.66	8.76±0.76	8.74±0.54
第 7 泌乳月 Seventh lactation month	8.39±0.29 ^a	8.87±0.48 ^a	7.55±0.39 ^b
第 8 泌乳月 Eighth lactation month	7.75±0.98	8.88±1.02	8.73±0.45
平均值 Mean	7.65±0.23	7.84±0.30	7.30±0.21

2.2.2 不同饲料粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳蛋白含量的影响

由表 5 可知, 14.8 %粗蛋白质组槟榔江水牛整个泌乳期内乳蛋白含量平均值显著高于 9.5 %粗蛋白质组 ($P<0.05$), 14.8 %、12.5 %和 9.5 %粗蛋白质组各泌乳月乳蛋白含量变化分别为 4.52 %~5.65 %、4.43 %~5.73 %和 4.43 %~5.11 %, 且各组间不同泌乳月差异均不显著 ($P>0.05$)。从不同泌乳月分析, 各组的乳蛋白含量都是在第 1

泌乳，月最高，之后呈先降低后有所升高的变化趋势，但出现最低含量的时间不同：14.8 %粗蛋白质组在第2泌乳月最低，12.5 %粗蛋白质组在第4泌乳月最低，9.5 %粗蛋白质组在第3泌乳月最低，大致变化规律与产奶量变化趋势相反。

表5 不同饲料粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳蛋白含量的影响

Table 5 Effects of different dietary CP levels on milk protein content of Binglangjiang Buffalo

项目 Items	14.8%粗蛋白质组 14.8% CP group	12.5%粗蛋白质组 12.5% CP group	9.5%粗蛋白质组 9.5% CP group
第1泌乳月 First lactation month	5.65±0.79	5.73±0.49	5.11±0.26
第2泌乳月 Second lactation month	4.52±0.18	4.59±0.13	4.47±0.06
第3泌乳月 Third lactation month	4.67±0.13	4.50±0.15	4.43±0.08
第4泌乳月 Fourth lactation month	4.75±0.14	4.43±0.33	4.44±0.09
第5泌乳月 Fifth lactation month	4.85±0.17	4.74±0.29	4.53±0.16
第6泌乳月 Sixth lactation month	4.73±0.17	4.82±0.22	4.49±0.16
第7泌乳月 Seventh lactation month	4.96±0.10	4.87±0.22	4.63±0.19
第8泌乳月 Eighth lactation month	4.95±0.24	4.82±0.29	4.60±0.29
平均值 Mean	4.89±0.13 ^a	4.81±0.12 ^a	4.59±0.06 ^a

2.2.3 不同饲料粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳糖含量影响

由表6可知，14.8 %、12.5 %和9.5 %粗蛋白质组槟榔江水牛整个泌乳期内乳糖含量平均值分别为5.15 %、4.82 %和5.02 %，但各组间差异不显著($P>0.05$)。3组各泌乳月，月乳，糖含量变化分别为4.83 %~5.48 %、4.26 %~5.20 %和4.56 %~5.38 %，且各组间不同泌乳月，月差异均不显著($P>0.05$)。从不同泌乳月分析，3组乳糖含量都表现为第2泌乳月最高，其余泌乳月间含量相近，变化幅度较小。

表6 不同饲料粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳糖含量的影响

Table 6 Effects of different dietary CP levels on milk lactose content of Binglangjiang buffalo

项目 Items	14.8%粗蛋白质组 14.8% CP group	12.5%粗蛋白质组 12.5% CP group	9.5%粗蛋白质组 9.5% CP group
第1泌乳月 First lactation month	4.83±0.31	4.70±0.24	4.97±0.20
第2泌乳月 Second lactation month	5.48±0.03	5.20±0.26	5.38±0.11
第3泌乳月 Third lactation month	5.40±0.05	4.93±0.25	5.32±0.07
第4泌乳月 Fourth lactation month	5.23±0.11	4.26±0.63	4.89±0.33
第5泌乳月 Fifth lactation month	5.08±0.15	4.79±0.36	4.92±0.22
第6泌乳月 Sixth lactation month	5.00±0.04	5.00±0.11	4.93±0.09
第7泌乳月 Seventh lactation month	5.06±0.03	4.92±0.17	4.90±0.08
第8泌乳月 Eighth lactation month	5.12±0.05	4.99±0.07	4.56±0.38
平均值 Mean	5.15±0.06	4.82±0.12	5.02±0.08

2.2.4 不同饲料粗蛋白质水平的槟榔江水牛乳总固形物含量比较

由表7可知，14.8 %、12.5 %和9.5 %粗蛋白质组槟榔江水牛整个泌乳期内乳，总固形物含量平均值分别为19.41 %、19.29 %和18.57 %，但各组间差异不显著($P>0.05$)。3组各泌乳月乳总固形物含量变化分别为18.20 %~20.54 %、17.78 %~21.60 %和17.36 %~20.20 %，且各组间不同泌乳月差异均不显著($P>0.05$)。各组不同泌乳月间乳总固形物含量变化幅度较小，没有明显的升降趋势。

2.2.5 不同饲料粗蛋白质水平的槟榔江水牛乳非脂固形物含量比较

由表8可知，14.8 %、12.5 %和9.5 %粗蛋白质组槟榔江水牛整个泌乳期内乳非脂固形物含量平均值分别为11.26 %、10.84 %和10.77 %，其中14.8 %粗蛋白质组乳非脂固形物含量

品显著高于 9.5 % 期蛋白质 ($P<0.05$)。3 组冬泌乳, 日乳, 非脂固形物含量变化分别为 10.66 %~11.92 %、9.92 %~12.02 % 和 10.05 %~11.42 %, 且各组间不同泌乳月差异均不显著 ($P>0.05$)。各组乳非脂固形物含量在不同泌乳月间变化趋势都表现为第 1 泌乳月最高, 之后呈现先降低后又略有升高的变化趋势。

表 7 不同饲粮粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳总固形物含量的影响

Table 7 Effects of different dietary CP levels on milk total solid content of Binglangjiang buffal %

项目 Items	14.8%粗蛋白组 14.8% CP group	12.5%粗蛋白组 12.5% CP group	9.5%粗蛋白组 9.5% CP group
第 1 泌乳月 First lactation month	20.07±1.63	21.60±1.23	18.40±0.90
第 2 泌乳月 Second lactation month	19.68±1.15	18.85±1.50	20.20±0.60
第 3 泌乳月 Third lactation month	20.54±0.49	18.94±1.20	17.90±1.23
第 4 泌乳月 Fourth lactation month	19.62±0.10	18.43±2.06	19.55±0.86
第 5 泌乳月 Fifth lactation month	18.20±0.55	17.78±0.59	17.36±0.51
第 6 泌乳月 Sixth lactation month	19.32±0.79	19.25±0.76	18.83±0.55
第 7 泌乳月 Seventh lactation month	19.05±0.29	19.54±0.49	17.81±0.50
第 8 泌乳月 Eighth lactation month	18.40±1.20	20.10±0.76	18.64±0.52
平均值 Mean	19.41±0.35	19.29±0.48	18.57±0.31

表 8 不同饲粮粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳非脂固形物含量的影响

Table 8 Effects of different dietary CP levels on milk non-fat solid content of Binglangjiang buffalo

项目 Items	14.8%粗蛋白组 14.8% CP group	12.5%粗蛋白组 12.5% CP group	9.5%粗蛋白组 9.5% CP group
第 1 泌乳月 First lactation month	11.92±0.50	12.02±0.56	11.42±0.29
第 2 泌乳月 Second lactation month	11.53±0.28	11.27±0.31	11.37±0.21
第 3 泌乳月 Third lactation month	11.68±0.23	10.69±0.36	11.04±0.22
第 4 泌乳月 Fourth lactation month	11.32±0.34	9.92±1.03	10.67±0.51
第 5 泌乳月 Fifth lactation month	10.83±0.19	10.40±0.55	10.32±0.31
第 6 泌乳月 Sixth lactation month	10.66±0.17	10.37±0.15	10.30±0.17
第 7 泌乳月 Seventh lactation month	10.96±0.09	10.78±0.22	10.43±0.20
第 8 泌乳月 Eighth lactation month	10.94±0.29	10.88±0.22	10.05±0.40
平均值 Mean	11.26±0.12 ^a	10.84±0.21 ^b	10.77±0.13 ^b

2.2.6 不同饲粮粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳体细胞数的影响

由表 9 可知, 14.8 %、12.5 % 和 9.5 % 粗蛋白质组槟榔江水牛整个泌乳期内乳体细胞数平均值分别为 20.88x10⁴、146.72x10⁴ 和 56.91x10⁴ 个/mL, 其中 12.5 % 粗蛋白质组乳体细胞数显著高于 14.8 % 和 9.5 % 粗蛋白质组 ($P<0.05$)。3 组各泌乳月乳体细胞数变化分别为 4.05x10⁴~40.68x10⁴ 个/mL、24.90x10⁴~238.78x10⁴ 个/mL 和 8.16x10⁴~100.67x10⁴ 个/mL, 且各组间不同泌乳月差异均不显著 ($P>0.05$), 其中 14.8 % 粗蛋白质组各泌乳月乳体细胞数平均值变化幅度不大, 均不超过 50x10⁴ 个/mL; 而 12.5 % 和 9.5 % 粗蛋白质组变化幅度较大, 个体差异也大, 且 2 组分别在泌乳初期和泌乳末期出现连续 2 个泌乳月乳体细胞数较高的情况。

2.2.7 不同饲粮粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳尿素氮含量的影响

由表 10 可知, 14.8 %、12.5 % 和 9.5 % 粗蛋白质组槟榔江水牛整个泌乳期内乳尿素氮含量平均值分别为 34.78、29.71 和 27.14 mg/dL, 其中 14.8 % 粗蛋白质组乳尿素氮含量显著高于其他 2 组 ($P<0.05$)。3 组各泌乳月乳尿素氮含量变化分别为



27.37~39.63 mg/dL、24.76~42.28 mg/dL 和 20.20~32.64 mg/dL。第 3 泌乳月, 各组乳尿素氮含量与整个泌乳期内乳, 尿素氮含量平均值情况一致: 第 8 泌乳月, 14.8 %和 12.5 %粗蛋白质组乳尿素氮含量显著高于 9.5 %粗蛋白质组($P<0.05$): 各组间其他泌乳, 月乳, 尿素氮含量则差异不显著($P>0.05$)。除第 8 泌乳, 月外, 前 7 个泌型, 月 14.8 %粗蛋白质组乳, 尿素氮含量始终高于其余 2 组。从不同泌乳, 月分析, 乳, 尿素氮含量表现为泌乳, 后期比泌乳, 前期高, 目各组都表现为产后第 1 泌乳月较低。之后随着泌乳月的增加而逐渐增加, 且 12.5 %粗蛋白质增加幅度最大。

表 9 不同饲粮粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳体细胞数的影响

Table 9 Effects of different dietary CP levels on milk somatic cell count of Binglangjiang buffalx10⁴ 个/mL

项目 Items	14.8%粗蛋白质组 14.8% CP group	12.5%粗蛋白质组 12.5% CP group	9.5%粗蛋白质组 9.5% CP group
第 1 泌乳月 First lactation month	36.00±4.35	200.41±132.79	86.94±41.46
第 2 泌乳月 Second lactation month	26.24±10.32	238.78±215.33	28.55±20.19
第 3 泌乳月 Third lactation month	4.05±0.83	37.10±32.60	9.57±3.01
第 4 泌乳月 Fourth lactation month	18.17±14.97	88.21±42.15	32.53±14.67
第 5 泌乳月 Fifth lactation month	5.47±2.88	234.68±153.25	80.31±47.27
第 6 泌乳月 Sixth lactation month	21.20±15.99	24.90±179.31	8.16±2.21
第 7 泌乳月 Seventh lactation month	40.68±22.27	136.40±54.17	139.00±62.88
第 8 泌乳月 Eighth lactation month	23.75±6.52	35.93±17.97	100.67±62.19
平均值 Mean	20.88±4.00 ^b	146.72±43.53 ^a	56.91±13.26 ^b

表 10 不同饲粮粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳尿素氮含量的影响

able 10 Effects of different dietary CP levels on milk urea nitrogen content of Binglangjiang buffalomg/dL

项目 Items	14.8%粗蛋白质组 14.8% CP group	12.5%粗蛋白质组 12.5% CP group	9.5%粗蛋白质组 9.5% CP group
第 1 泌乳月 First lactation month	27.37±4.86	24.76±2.85	20.20±4.11
第 2 泌乳月 Second lactation month	31.20±6.86	27.78±3.27	28.93±1.87
第 3 泌乳月 Third lactation month	37.60±6.88 ^a	27.33±1.77 ^b	23.81±2.59 ^b
第 4 泌乳月 Fourth lactation month	36.85±4.99	27.57±3.25	29.80±3.11
第 5 泌乳月 Fifth lactation month	37.37±5.79	31.08±1.83	27.00±3.94
第 6 泌乳月 Sixth lactation month	38.36±6.22	33.32±1.77	32.64±3.73
第 7 泌乳月 Seventh lactation month	39.63±6.75	34.50±3.10	30.30±4.18
第 8 泌乳月 Eighth lactation month	29.80±2.34 ^a	42.28±6.08 ^a	25.27±1.90 ^b
平均值 Mean	34.78±2.01 ^a	29.71±1.23 ^b	27.14±1.27 ^b

2.2.8 不同饲粮粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳脂蛋比的影响

由表 11 可知, 14.8 %、12.5 %和 9.5 %粗蛋白质组槟榔江水牛整个泌乳期内乳脂蛋比平均值分别为 1.59、1.64 和 1.60, 但各组间差异不显著($P>0.05$)。随着泌乳月的增加, 各组乳脂蛋比有逐渐增长的趋势, 但各组间不同泌乳月差异均不显著($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 不同饲粮粗蛋白质水平对槟榔江水牛产奶量和泌乳天数的影响

3.1.1 不同饲粮粗蛋白质水平对槟榔江水牛产奶量的影响

为了比较不同状态下的乳, 的质量和计算不同条件下产乳, 的营养需要, 通常将不同乳, 脂含量的乳, 矫正到含乳脂 7 %的标准状态下进行分析, 因本试验依据 3 组牛整个泌乳期内乳脂含量基本都高于 7 %, 所以用乳脂含量为 7 %作为标准计算 7 % FCM

来进行分析。试验结果表明, 14.8 %、12.5 %和 9.5 %粗蛋白质组水牛泌乳期日均产奶量分别为 5.11、4.53 和 4.25 kg/d, 这与谢红等、白文顺等和毛华明等报道的结果相近, 但低于屈在久等报道的结果, 这可能与调查方法有关, 从而高估了日产奶量, 马畅调查也发现这一问题。由于产奶量有所差异而导致 3 组试验牛的泌乳曲线走势也不相同, 并由此可以看出 9.5 %粗蛋白质不能满足槟榔江水牛营养需要, 这与 Lakhani 等和 Akhtar 等的研究结果相似; 14.8 %粗蛋白质组产奶量起点最低, 但产奶量上升速率较大, 高峰泌乳日较迟, 但高峰日产奶量最高, 说明此粗蛋白质水平能够满足水牛营养需要, 这与 Santilo 等、邹彩霞等和 Bovera 等的研究结果相似; 而 12.5 %粗蛋白质组产奶量起点最高, 达到泌乳高峰的时间也最短, 但日产奶量下降速率也最大, 这可能是各组之间饲料组成及营养水平不同所致, 其中 12.5 %粗蛋白质组添加了 5 %的奶牛精料补充料, 14.8 %粗蛋白质组添加了 5 %的玉米蛋白粉, 2 组所添加的饲料营养成分存在一定差异, 特别是粗蛋白质水平差异较大, 虽然 12.5 %粗蛋白质组营养水平能够满足水牛前期营养需要, 但其蛋白质除了用于产奶还

需用于体组织的蛋白质沉积, 因此到了泌乳中、后期饲料粗蛋白质水平无法满足水牛营养需要, 故中、后期产奶量下降迅速。

表 11 不同饲料粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳脂蛋白比的影响

Table 11 Effects of different dietary CP levels on milk fat to protein ratio of Binglangjiang buffalo

项目 Items	14.8%粗蛋白质组 14.8% CP group	12.5%粗蛋白质组 12.5% CP group	9.5%粗蛋白质组 9.5% CP group
第 1 泌乳月 First lactation month	1.38±0.24	1.50±0.12	1.26±0.09
第 2 泌乳月 Second lactation month	1.51±0.12	1.41±0.22	1.65±0.09
第 3 泌乳月 Third lactation month	1.60±0.06	1.60±0.16	1.37±0.18
第 4 泌乳月 Fourth lactation month	1.58±0.06	1.66±0.14	1.76±0.05
第 5 泌乳月 Fifth lactation month	1.59±0.15	1.61±0.13	1.58±0.12
第 6 泌乳月 Sixth lactation month	1.88±0.08	1.84±0.18	1.95±0.13
第 7 泌乳月 Seventh lactation month	1.70±0.08	1.83±0.08	1.63±0.06
第 8 泌乳月 Eighth lactation month	1.55±0.12	1.83±0.14	1.91±0.07
平均值 Mean	1.59±0.05	1.64±0.06	1.60±0.05

影响奶牛产奶量的因素很多, 包括遗传因素、生理因素、管理因素及营养因素等, 因此可通过选育、加强饲养管理和提供合理的营养水平等措施以提高产奶量, 其中, 饲料蛋白质和能量水平是衡量饲料营养水平的重要指标之一, 本试验结果证实了将饲料粗蛋白质水平提高到 14.8 %能显著提高槟榔江水牛产奶量, 这与 Costa 等、Zang 等、Akhtar 等和 Bartocci 等的研究结果一致; 但也与 Santio 等、zang 等、Yang 等 Lakhani 等和邹彩霞等所获得的提高饲料粗蛋白质水平对奶牛产奶量无显著影响的结果有差异, 这可能与试验设置的饲料能量与



粗蛋白质水平、饲养管理水平、试验动物品种及泌乳期等不同有关。

3.1.2 不同饲料粗蛋白质水平对槟榔江水牛泌乳天数的影响

牛泌乳天数的长短会影响产奶量的高低。唐小飞研究表明,摩拉水牛和尼里-拉菲水牛的平均泌乳天数分别为311.26和286.59d,其中泌乳天数在240 d以下所占的比例分别为17.36%和30.45%,在240~360d的比例分别为57.68%和52.92%,360 d以上的比例分别为24.93%和16.62%,可见摩拉和尼里-拉菲水牛的泌乳期多在240~360 d。本研究结果显示,槟榔江水牛饲料粗蛋白质水平为9.5%、12.5%和14.8%时,相对应的平均泌乳天数分别为221、234和254 d,除9.5%粗蛋白质组泌乳天数偏低外,其余2组牛的泌乳天数均符合上述分布范围;而余选富等报道,槟榔江水牛的平均泌乳天数为290 d,最高泌乳天数为356 d,最低泌乳天数为140 d;屈在久等报道,槟榔江水牛的平均泌乳天数为269.53 d,最高泌乳天数为330 d,最低泌乳天数为239 d,这与本研究结果存在一定差异,这可能与槟榔江水牛个体差异大及饲养管理水平不一致,以及日产奶量计算是否大于3 kg/d有关。除此之外,本研究结果还

表明,随着饲料粗蛋白质水平从9.5%升高至14.8%,槟榔江水牛泌乳天数有提高的趋势,但影响效果不显著。

3.2 不同饲料粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳成分的影响

3.2.1 不同饲料粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳脂和乳蛋白含量的影响

乳脂和乳蛋白是牛奶中最主要的营养物质,乳制品的好坏受其含量多少的影响:牛奶中乳脂和乳蛋白含量高,乳制品口感、风味更佳,产品的质构和保型性也更好,本试验结果表明,饲料粗蛋白质水平为9.5%、12.5%和14.8%的3组水牛整个泌乳期内乳脂含量变化分别为5.99%~8.74%、6.48%~8.88%和6.76%~8.93%,与谢红等、白文顺等、毛华明等、马畅、唐小飞、李清等、邓慧芳等、童纯熙等、晋丽娜等和罗福丽所报道的结果相近;3组乳蛋白含量变化分别为4.43%~5.11%、4.43%~5.73%和4.52%~5.65%,与谢红等、白文顺等、李清等、童纯熙等和罗福丽的研究结果相近,略高于唐小飞、晋丽娜等和符俊的研究结果,可能是由试验牛的品种、饲料营养水平及环境等因素不同造成。随着泌乳时间的增加,槟榔江水牛的乳脂和乳蛋白含量变化趋势基本为先降低后升

高,这与罗福丽、童雄等、周玲、Yimaz 等、Sahin 等和 Ghavi Hossein-zadeh 的研究结果一致;曾令湖等和梁靓等研究也发现,随着泌乳月龄的增加牛乳中的乳脂率和乳蛋白率存在着协同关系。本试验中,提高饲粮粗蛋白质水平对槟榔江水牛整个泌乳期乳脂含量平均值和各泌乳月乳蛋白含量无显著影响,这与 Santio 等、Costa 等、刘怡帆等、Lakhani 等、Akhtar 等、邹彩霞等和 Terramoccia 等的研究结果一致。

3.2.2 不同饲粮粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳脂蛋比的影响,

乳脂蛋比是指测定日奶样乳脂含量与乳蛋白含量的比值,可以用来分析奶牛的营养和代谢情况,反映饲粮营养供应量是否合适,进而指导饲粮配方调整,以达到改善奶牛体况,降低饲养成本的目的,本试验结果表明,饲粮粗蛋白质水平为 9.5 %、12.5 %和 14.8 %的 3 组试验水牛整个泌乳期内乳脂蛋比变化分别为 1.26~1.95、1.41~1.83 和 1.38~1.88,与 Mustafa 等、Santilo 等、Eldawy 等、Bartocci 等和 El-Moghazy 等的研究结果相近;随着泌乳时间的增加,乳脂蛋比有逐渐升高的趋势,与 Barocci 等的研究结果一致。当饲粮产奶净能一致时,提高饲

粮粗蛋白质水平对平均乳脂蛋比无显著影响,与 Bartocci 等的研究结果一致。乳脂蛋比过低表明奶牛精料比例过高,而粗饲料质量差,在瘤胃中的发酵率降低,奶牛反刍减少,酸中毒病症增多;乳脂蛋比过高则表明奶牛饲粮中蛋白质不平衡,品质差,瘤胃微生物蛋白合成不足,奶牛干物质采食量不足,夏天会出现热应激。谢红等研究发现,云南奶水牛乳,脂蛋比在 1.2~1.4,因此在养殖过程中要注意奶水牛的饲粮营养搭配及精粗饲料的比例,饲粮粗蛋白质水平可为 9.5 %~12.0 %。

3.2.3 不同饲粮粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳糖含量的影响

乳糖由饲粮中的淀粉和糖类在瘤胃降解产生的丙酸合成,是乳中最稳定的成分,乳糖的合成受到饲粮中淀粉等能量物质的影响,本试验结果表明,饲粮粗蛋白质水平为 9.5 %、12.5 %和 14.8 %的 3 组试验水牛整个泌乳期内乳糖含量变化分别为 4.56 %~5.38 %、4.26 %~5.20 %和 4.83 %~5.48 %,与 Mustafa 等、Bartocci 等、谢红等、白文顺等、毛华明等、马畅、余选富等、李清等、邓慧芳等和 ElMoghazy 等的研究结果相近。当饲粮产奶净能一致时,提高饲粮粗蛋

白质水平对乳糖含量无显著影响,与 Santo 等、costa 等、Zang 等、Yang 等、Naveed-U-Haque 等和邹彩霞等的研究结果一致;且各泌乳月间的变化幅度小,在 4.26 %~5.48 %变化,与 Wang 等、晋丽娜等、罗福丽、符俊和 Sahin 等报道的结果相似,说明饲料营养成分组成合理。

3.2.4 不同饲料粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳总固形物含量的影响

总固形物含量是指牛乳,中除水分以外的所有成分的含量,包括乳,蛋白、乳糖、乳脂肪和乳,矿物质等,是评价牛奶品质的重要指标之一,能够反映牛奶的浓缩程度和口感,本试验结果表明,饲料粗蛋白质水平为 9.5 %、12.5 %和 14.8 %的 3 组试验水牛整个泌乳期内乳总固形物含量变化分别为 17.36 %~20.20 %、17.78 %~21.60 %和 18.20 %~20.54 %,与 Costa 等、毛华明等、李清等、El-Moghazy 等和 Singh 等的研究结果相近;不同泌乳月间乳总固形物含量变化幅度小,说明槟榔江水牛乳总固形物在不同泌乳月具有一定稳定性,与 Wang 等和 Sahin 等的研究结果一致。提高饲料粗蛋白质水平对乳总固形物含量无显著影响,与 Mustafa 等、Santio 等、Wang 等和 Reid 等的研究结

果一致;而 Costa 等研究则表明将饲料粗蛋白质水平从 12 %提高到 16 %,能显著提高总固形物含量,这可能与本试验饲料能显著提高奶水牛产奶量有关。

3.2.5 不同饲料粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳非脂固形物含量的影响

非脂固形物是指牛奶中除了脂肪和水以外的物质总称,主要包括蛋白质、碳水化合物、矿物质和维生素等,可作为判断牛奶中营养价值的指标,其含量越高,说明该牛奶中蛋白质、乳糖、矿物质和维生素等营养物质含量高,牛奶质量越好,饲料粗蛋白质水平为 9.5 %、12.5 %和 14.8 %的 3 组试验水牛整个泌乳期内乳非脂固形物含量变化分别为 10.05 %~11.42 %、9.92 %~12.02 %和 10.66 %~11.92 %,与 Mustafa 等、Costa 等、Zang 等和邓慧芳等的研究结果相近;随着泌乳时间的增加,泌乳后期乳非脂固形物含量低于泌乳前期,但变幅不大,Mustafa 等研究表明泌乳第 46~120 天的摩拉水牛乳非脂固形物含量比泌乳第 1~45 天的含量略低;Sahin 等研究表明,泌乳中期安纳托利亚水牛的乳非脂固形物含量略低于泌乳初期和末期,说明乳非脂固形物的含量会受奶牛泌乳时间的影响。

当饲料产奶净能一致时,饲料粗



蛋白质水平从9.5 %升高到14.8 %可显著提高槟榔江水牛乳非脂固形物的含量; Costa 等研究表明, 将饲料粗蛋白质水平从12 %提高到16 %, 可提高奶牛乳非脂固形物含量, 但差异不显著; Mustafa 等和 Zang 等研究表明, 提高饲料粗蛋白水平对奶牛乳非脂固形物含量无显著影响, 这与本试验结果不一致, 这可能与奶牛品种、泌乳期和饲料营养水平不同有关。

3.2.6 不同饲料粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳体细胞数的影响

乳体细胞数是指每毫升牛乳中所含体细胞的总数, 可以用来衡量奶牛生理健康状况, 同时可以用来评判奶牛的泌乳性能及乳品质。由本试验结果可知, 槟榔江水牛各泌乳月的乳, 体细胞数变化幅度较大, 9.5 %、12.5 %和14.8 %粗蛋白质组试验水牛整个泌乳期内乳体细胞数变化分别为 $8.16 \times 10^4 \sim 100.67 \times 10^4$ 个/mL、 $24.90 \times 10^4 \sim 238.78 \times 10^4$ 个/mL 和 $4.05 \times 10^4 \sim 40.68 \times 10^4$ 个/mL, 说明试验牛个体间乳, 体细胞数差异较大。白文顺等研究表明, 云南省水牛乳体细胞数平均值为 $(24.90 \pm 94.89) \times 10^4$ 个/mL, 其中低于 5×10^4 个/mL 的占43 %, 低于 20×10^4 个/mL 的占80 %, 高于 100×10^4 个/mL 的占4 %; 谢红等对云

南省的5个奶水牛场2009~2010年2年间2882个水牛奶分析发现, 其平均乳, 体细胞数为 43×10^4 个/mL, 说明云南省奶水牛个体间乳体细胞数存在很大差异, 这与本研究结果一致。

3.2.7 不同饲料粗蛋白质水平对槟榔江水牛乳尿素氮含量的影响

乳尿素氮含量是指尿素在牛奶中的含量, 过高或过低都反映了奶牛的代谢紊乱, 可能引发繁殖障碍问题, 进而影响奶牛生产性能, 本试验结果表明, 饲料粗蛋白质水平为9.5 %、12.5 %和14.8 %的3组试验水牛整个泌乳期内乳, 尿素氮含量变化分别为 $20.20 \sim 32.64$ mg/dL、 $24.76 \sim 42.28$ mg/dL 和 $27.37 \sim 39.63$ mg/dL, 与 Eldawy 等和 Campanile 等的研究结果相近, 略高于谢红等、白文顺等和李清等的研究结果。可能与本研究所设计的饲料粗蛋白质水平高于一般奶水牛的饲料粗蛋白水平有关, 但由于前者报告中并未详细介绍所检测各奶牛场奶水牛的饲料营养水平, 所以具体原因有待研究。

从不同泌乳月分析, 乳尿素氮含量表现为泌乳后期比泌乳前期高, 与李胜利的研究结果一致。Campanile 等研究表明, 从泌乳第132天至泌乳第214天的地中海奶水生, 其乳, 尿素氮含量呈先上升后下降的趋势; Eldaw 等

研究表明,从泌乳,第23天到泌乳第136天,奶水生乳,尿素氮含量呈先升高后降低的趋势:Santiio等研究表明,泌乳第91~146天乳尿素氮含量显著低于泌乳第33~90天,说明泌乳期会影响奶水牛乳尿素氮含量.将饲料粗蛋白质水平从9.5%升高到12.5%不影响槟榔江水牛乳,尿素氮含量,但升高到14.8%可显著提高其含量,说明在一定范围内提高饲料粗蛋白质水平可显著提高乳尿素氮含量,与Zang等、

Campanile等和Bartocci等的研究结果一致,月Bartocci等研究表明乳,尿素氮含量的最高值与粗蛋白质水平最高的饲料有关。

4 结论

饲料粗蛋白质水平从9.5%提高至14.8%可显著提高槟榔江水牛产奶量以及乳蛋白、乳非脂固形物和乳尿素氮含量,但对泌乳天数和乳脂、乳糖乳总固形物含量以及乳脂蛋白无显著影响。

产神经酸菌种的筛选及发酵条件优化研究

宋贤娟¹, 孙爱娣¹, 张瑞², 周佩蓉¹, 黄艾祥¹, 王雪峰^{1,2}

(云南农业大学 食品科学技术学院, 昆明 650201;2.滨州市检验检测中心, 山东 滨州 256600)

摘要:神经酸是国际上公认的能促进受损神经组织修复、再生,治疗脑部疾病的有效物质,但目前神经酸的获取途径较为单一复杂,成本较高。本文以云南特色辣木籽油为底物,从4种产油菌株中筛选出产神经酸较高的菌种,进行发酵条件优化并采用GC-MS测定工艺优化前后酵母提取物中脂肪酸组成及含量。结果表明,圆红冬孢酵母菌为产神经酸最佳菌株;单因素结合响应面法得到最优发酵条件为:培养时间48 h、菌种添加量10%、油添加量7%,在此工艺下得到酵母提取物中神经酸浓度为2.40 mg/mL;采用气相色谱质谱联用仪检测圆红冬孢酵母原始菌冻干物中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸(占总脂肪酸)分别为39.81%、43.19%、17%,神经酸含量为10.983 μg/g;最优发酵条件酵母提取物冻干粉中分别为45.09%、30.78%、24.23%,神经酸含量为13.518 μg/g,比圆红冬孢酵母原始菌冻干物中神经酸含量提升了23%。该研究可为神

神经酸的获取及其相关研究提供理论依据。

关键词：神经酸；圆红冬孢酵母菌；辣木籽油；发酵条件优化；GC-MS

神经酸（Nervonic acid, NA C24:1），化学名顺-15-二十四碳烯酸，又名鲨鱼酸（Selacholeic acid）。大脑中缺乏神经酸会引起大脑损伤以及记忆力减退，导致中风、老年痴呆等大脑疾病，对人体健康造成极大威胁。目前，神经酸已成为公认的能够修复脑受损“神经传递通道”，并促使“神经再生”的双效、高能神奇物质，其独特的神经保护作用使其受到市场关注。神经酸最早发现于动物组织中，但随着人类短期快速大量地捕杀鲨鱼，使鲨鱼资源逐渐匮乏，生态环境平衡遭到破坏，为了保护鲨鱼资源，国际上开始禁止捕杀鲨鱼，这一举动使神经酸的获取受到极大制约。随着油脂化学的发展，研究者探究发现一些植物果实和种子中含有神经酸。对神经酸的研究由动物源转向植物源，以探索能够生产神经酸的可再生资源，从植物中提取成为获取神经酸的主要方向。目前已发现 13 科 31 属的 38 种植物中有神经酸存在，其中 8 种木本植物和 2 种草本植物的神经酸含量至少为 4.6 %。我国神经酸含量较高的植物有元宝枫、文冠果、蒜头果。虽然一些植物表现出较高的种子油含量和神

经酸含量，但由于各种条件的制约，植物源神经酸的获取遭遇瓶颈，远不能满足市场需求。除了鲨鱼组织和部分植物中含有神经酸，利用微生物资源进行发酵和半工业化生产也能够获得神经酸，且通过微生物发酵的方式生产神经酸具有生长繁殖快，发酵条件易控制，培养时间短等优势，已成为生产神经酸的一种新趋势，引起越来越多的关注。范勇等利用微藻 *Mychonastes oer* HSO-3 生产神经酸，在对 *Mychonastes oer* HSO-3 的油脂成分研究过程中，发现其含有较高的神经酸，其神经酸含量能够达到细胞内中性脂肪酸含量的 6.5 %，是良好的神经酸来源物种。随着微生物学不断发展，科学家们不单停留于从单一微生物中获取脂肪酸，国内外学者发现通过外源添加底物进行发酵的方式也能提高脂肪酸的产量，对脂肪酸的研究转向微生物发酵油脂。Chen 等首次发现利用植物乳酸杆菌 CGMCC8198 发酵元宝枫油可提高共轭亚油酸的含量，这一发现为神经酸的获取提供了新思路，利用微生物外源添加种子油进行发酵生产神经酸的方式成为获取神经酸资源的有效途

径。能够将处理后的生物质转化为油脂并储存在胞内的微生物被称为产油微生物。产油微生物具有繁殖迅速,生长周期短,不受场地、气候和季节变化等的限制,能连续大规模生产,还能够合成多种不饱和脂肪酸用来开发功能性食品,如微生物油脂中的 γ -亚麻酸、二十碳四烯酸、二十碳五烯酸(Eicosapentaenoic acid, EPA)、二十二碳六烯酸(Docosahexaenoic acids, DHA)和 NA 等成分,其油脂组成与植物油相似等诸多优点,应用越来越广泛。产油微生物主要有微藻、霉菌、细菌和酵母四大类,常见的产油酵母有丝孢酵母属、红冬孢酵母属和耶氏酵母属,产油酵母平均可积累自身干重 40% 的脂质,并且通过发酵条件优化等方式调节生产要素可使油脂含量大幅提升,有的可达自身干重的 70%,具有极大开发潜力。与微藻、霉菌、细菌三类产油微生物相比,产油酵母菌具有培养条件简单,菌体生物量大,产油脂含量高、底物利用谱广等诸多优点,是微生物产油脂研究的潜在资源。目前,通过发酵法产神经酸的研究主要集中在从植物内生菌中筛选出产神经酸的真菌,通过基因工程技术对菌株进行改造,外源添加油酸等进行诱导的方式获取神经酸,

但从特定植物中培养提取具有一定局限性,基因改造过程复杂、耗时,不利于产业化生产。而采用以油脂为底物直接发酵获取神经酸的方式改善了从特定动植物中提取的局限性,且具有耗时短、条件易控制、可根据需要进行小批量或大批量连续化生产等优点,利于实现产业化生产。因此,本文以云南特色辣木籽油为底物,从 4 种产油菌种中筛选出产神经酸较高的菌株,进行发酵条件优化并采用 GC-MS 测定工艺优化前后酵母提取物中脂肪酸组成及含量,为神经酸的获取及相关研究提供理论依据。

1.1 材料与试剂

辣木籽 云南天佑有限公司;神经酸甲酯标准品 上海源叶生物科技有限公司;圆红冬孢酵母(GDMCC 2.226) 广东省微生物菌种保藏中心;解脂假丝酵母(GDMCC 2.187)和深黄被孢霉(GDMCC 3.241):购于广东省微生物菌种保藏中心;深黄被孢霉(BNCC 336207):购于北京北纳创联生物技术研究院;氢氧化钾、氢氧化钠、甲醇、无水硫酸钠、乙醇、无水乙醚、氯仿 天津市凤船化学试剂科技有限公司;盐酸 重庆川东化工(集团)有限公司;硫酸 上海星可高纯溶剂有限公司;氯化钠 天津市



恒兴化学试剂制造有限公司；冰乙酸
天津市富宇精细化工有限公司；三氯
甲烷 成都市科隆化学有限公司；
麦芽汁培养基（YM） 青岛日水生物
技术有限公司。

1.2 仪器与设备

ZYJ-420 榨油机 东莞市房太电
器有限公司；EPED-ESL-10TH 超纯水
机 南京易普易达科技发展有限公司；
SCQ-9201B 超声波提取仪 上海声彦
超声波仪器有限公司；LDZM-60KCS
立式压力蒸汽灭菌锅上海申安医疗器
械厂；THZ-98A 振荡摇床培养箱 上
海一恒科学仪器有限公司；H2-16KR
台式高速冷冻离心机 湖南可成仪器
设备有限公司；SCIENTZ-18N 真空冷
冻干燥机 上海比朗仪器制造有限公
司；Agilent 7890A 气相色谱仪 上海驭
铭实业有限公司；TRACE 1300 气相
色谱仪、TSQ 9000 质谱仪 美国赛默
飞世尔科学公司。

1.3 方法

1.3.1 辣木籽油及乳化液的制备

1.3.1.1 辣木籽油的制备

取一定量辣木籽，除去杂质，放
入烘盘于 60℃烘箱中烘 4 h，榨油机
预热 10 min，将烘好的辣木籽取出，
缓慢加入榨油机进行压榨，获得辣木
籽油，静置，去除沉淀，倒入瓶中密

封，于-20℃保存备用；

1.3.1.2 乳化液的制备

取辣木籽油，以辣木籽油：水：
吐温 80=2：2：1 的比例进行混合均匀，
冰水浴超声 10 min（超声 10 s 后间歇
10 s，共 10 min）后置于无菌操作台中
（紫外 30 min）备用。

1.3.2 菌种的制备

菌种复苏、传代、保存：配置培
养基，灭菌（YM 培养基 121℃、15
min，PDA 培养基 121℃、20 min），
置于无菌操作台冷却备用。菌种冻干
粉开管，加 0.5 mL 培养基于菌管中混
匀后取 0.25 mL 加入到 50 mL 培养
基中，摇匀，于 28℃、200 r/min 恒温
摇床中培养（圆红冬孢酵母、解脂假
丝酵母 24 h，深黄被孢霉 72 h），即
得一代菌，取 1 mL 一代菌于 50 mL 培
养基中培养即得二代菌，重复上述操
作得三代菌（可用于后续实验），取 1
mL 菌液加入装有 1 mL 30 % 甘油的冻
存管中，密封，于-80℃保存备用。

1.3.3 活化与培养

1.3.3.1 菌种活化

取出冻存管，室温解冻，于无菌
操作台中接入灭好菌的培养基中，于
28℃、200 r/min 恒温摇床中培养（圆
红冬孢酵母、解脂假丝酵母 24 h，深
黄被孢霉 72 h），得到菌液备用。



1.3.3.2 培养

取1%辣木籽油乳化液5%活化好的菌液加入100 mL灭菌好的培养基中,摇匀,于28℃、200 r/min恒温摇床中培养(圆红冬孢酵母、解脂假丝酵母48h,深黄被孢霉144h)。

1.3.4.1 标准曲线的建立

取神经酸甲酯标准品,用正己烷溶解,分别配制20 mg/mL、10 mg/mL、5mg/mL、2.5 mg/mL、1.25 mg/mL、0.625 mg/mL、0.312 mg/mL7个浓度梯度的神经酸甲酯标准品溶液。

1.3.4.2 菌种提取物中油脂的提取

参考夏俊杰的方法并进行略微调整。培养结束后的培养液8000 r/min离心10 min,去除上清液,用无菌水清洗下层菌体三次,置于圆底烧瓶中,加15 mL10%的氢氧化钾-甲醇溶液,混匀后于80℃水浴冷凝回流2h,结束后用5 mL6 mol/L的盐酸溶液进行酸化,加10 mL正己烷,于200 r/min摇床中振荡萃取2h,将萃取得到的上层有机相取出,用N₂吹至500 μL至1 mL。

1.3.4.3 脂肪酸甲酯的制备

将氮吹结束的溶液中加入4 mL1%的硫酸甲醇溶液,于60℃水浴锅中反应1h,取出室温冷却,加5 mL饱和氯化钠溶液,析出蛋白质等杂质,再加1 mL正己烷,盖上塞

子,用旋涡振荡仪振荡3 min,静置30 min,取出上层溶液,加入无水硫酸钠除去多余水分后经0.45 μm滤膜过滤后上机检测。

1.3.4.4 上机检测

使用Agilent Technologies 7890A GC气相色谱仪,HP-88毛细管柱(60 mm×250 μm×0.2 μm)对神经酸甲酯标品和脂肪酸甲酯进行检测分析。气相色谱检测条件:进样温度230℃、载气20 mL/min、分流比40:1、流速1 mL/min、检测器250℃、氢气40 mL/min、空气400 mL/min、进样量1 μL、升温程序:150℃保持1 min、6℃/min的速率到230℃保持20 min。

1.3.5 含神经酸酵母提取物发酵单因素实验

在预实验的基础上进行单因素实验。以神经酸浓度为指标,考察培养时间(12 h、24 h、36 h、48 h、60 h、72 h)、培养温度(23℃、28℃、33℃、37℃、38℃)、菌种添加量(2%、4%、6%、8%、10%、12%)、油添加量(1%、2%、4%、6%、8%、10%)对神经酸浓度的影响,确定每个因素的最优条件。

1.3.6 含神经酸酵母提取物发酵响应面实验设计

根据单因素实验结果,利用

Design-Expert.v8.0.6.1 软件，采用 Box-Behnken 设计三因素三水平的响应面实验，其因素水平如表 1 所示。

表1 响应面因素水平表
Table 1 Experimental design and results

水平	因素		
	培养时间 (h)	菌种添加量 (%)	油添加量 (%)
-1	24	8	4
0	36	10	6
1	48	12	8

1.3.7 脂肪酸组成及含量的测定

1.3.7.1 圆红冬孢酵母原始菌和最优发酵条件酵母提取物的制备

将 2.2.1.3 中发酵培养结束后的培养液（圆红冬孢酵母原始菌为不加辣木籽油乳化液的培养液）于 4000 r/min 离心 10 min，去除上清液，无菌水清洗三次后于 -80℃ 冰箱冷冻 24 h，真空冷冻干燥机中冷冻干燥 3 天，冻干完全后取出密封，于 -20℃ 保存备用。

1.3.7.2 标准品的配置

脂肪酸甲酯混标溶液（4000 $\mu\text{g/mL}$ ）用正己烷配置成 1 $\mu\text{g/mL}$ ，5 $\mu\text{g/mL}$ ，10 $\mu\text{g/mL}$ ，25 $\mu\text{g/mL}$ ，50 $\mu\text{g/mL}$ ，100 $\mu\text{g/mL}$ ，250 $\mu\text{g/mL}$ ，500 $\mu\text{g/mL}$ ，1000 $\mu\text{g/mL}$ ，2000 $\mu\text{g/mL}$ 10 个混合标准浓度梯度，其中浓度为各组分的总浓度。母液保存于 -20℃，工作标准溶液现配现用。

1.3.7.3 代谢物提取

精确称取适量样本于 2 mL 离心管中，准确加入 1 mL 的氯仿甲醇（2:1）溶液，加入 100 mg 玻璃珠，

放入高通量组织研磨仪中 60 Hz 振荡 1 min，重复 2 次，室温超声 30 min，12 000 r/min 4℃ 离心 5 min，取上清液于 15 mL 离心管中，加入 2 mL 1% 硫酸甲醇溶液，充分混匀振荡 1 min，80℃ 水浴锅中甲酯化 30 min，取出后冷却，加入 1 mL 正己烷萃取，振荡混匀 30 s，静置 5 min，再加入 5 mL H_2O （4℃）洗涤，12 000 r/min 4℃ 离心 10 min，吸取 700 μL 上清液于 2 mL 离心管中，再加入 100 mg 无水硫酸钠粉末除去多余水分，振荡混匀 30 s，12 000 r/min 离心 5 min，吸取 300 μL 上清液于 2 mL 离心管中，加入 15 μL 500 ppm 水杨酸甲酯作为内标，振荡混匀 10 s，精准吸取 200 μL 上清液加入到检测瓶中。

1.3.7.4 上机检测

色谱条件：Thermo Trace 1300（Thermo Fisher Scientific，USA）气相系统，色谱柱 Thermo TG-FAME 毛细管柱（50 m×0.25 mm ID×0.20 μm ）；分流进样，进样量 1 μL ，分流比 8:1。进样口温度 250℃；离子源温度 300℃；传输线温度 280℃。程序升温起始温度 80℃，保持 1 min；以 20℃/min 升至 160℃，保持 1.5 min；以 3℃/min 升至 196℃，保持 8.5 min；最后以 20℃/min 升至 250℃，保持 3 min。载

气为氦气, 载气流速 0.63 mL/min。质谱条件: Thermo TSQ 9000 质谱仪 (Thermo Fisher Scientific, USA), 电子轰击电离 (EI) 源, SIM 扫描方式, 电子能量 70 eV。计算公式: 按公式 (1) 计算各脂肪酸的含量。

$$\text{各脂肪酸含量} = \frac{C \times 1}{\text{取样量}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, C 为各脂肪酸的浓度。

1.4 数据处理

所有实验均重复 3 次, 利用 Microsoft Office Excel 2019 进行数据收集整理, 用 Graphpad prism7.0、Origin 2021 绘图, IBM SPSS Statistics 19 对数据进行统计学分析。

2 结果与分析

2.1 神经酸甲酯标准曲线的建立

神经酸甲酯标准品 (20 mg/mL) 色谱图和神经酸甲酯标准曲线如图 1 和图 2 所示。从图 1NA 甲酯标准品色谱图可知, 在 0-35 min 响应时间内, 色谱图中仅出现两个色谱峰, 4.342 min 处的为正己烷试剂色谱峰, 19.993 min 处的为神经酸甲酯标准品 (20 mg/mL) 的色谱峰。神经酸甲酯标准曲线如图 2 所示, 以神经酸色谱峰面积和相对应的神经酸质量浓度进行线性回归分析, 由最小二乘法计算得回归方程为 $y=328.04x-10.07$,

$R^2=0.9995$, 说明在 0.132-20 mg/mL 质量浓度范围内, 神经酸的标准曲线线性良好。

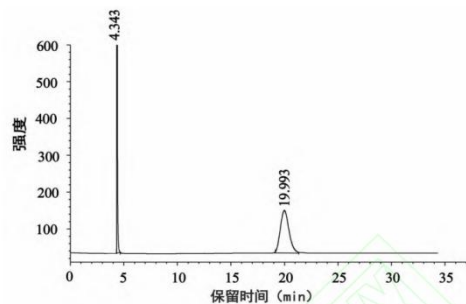


图1 NA甲酯标准品色谱图
Fig.1 Chromatogram of NA methyl ester standard

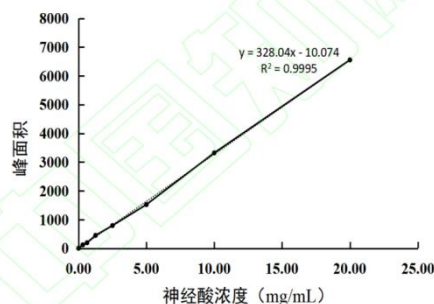


图2 NA甲酯标准曲线
Fig.2 Standard curve of NA methyl ester

2.2 不同菌种提取物中神经酸含量的测定

不同菌种提取物中神经酸含量如表 2 所示, 从表中可以看出, 解脂假丝酵母 (GDMCC 2.187) 提取物中神经酸浓度为 0.58 ± 0.01 mg/mL、深黄被孢霉 (GDMCC 3.241) 提取物中未检测到神经酸、深黄被孢霉 (BNCC 336207) 提取物中神经酸浓度为 0.52 ± 0.02 mg/mL, 圆红冬孢酵母 (GDMCC 2.226) 提取物中神经酸浓度为 0.71 ± 0.02 mg/mL, 为四种菌种提取物中神经酸浓度最高, 因此, 确定圆红冬孢酵母 (GDMCC 2.226) 为产神经酸最

优菌株。

表 2 不同菌种提取物中 NA 含量

Table 2 NA content in extracts of different strains

菌种	NA浓度 (mg/mL)
圆红冬孢酵母 (GDMCC 2.226)	0.71±0.02
解脂假丝酵母 (GDMCC 2.187)	0.58±0.01
深黄被孢霉 (GDMCC 3.241)	0
深黄被孢霉 (BNCC 336207)	0.52±0.02

2.3 含神经酸酵母提取物发酵单因素实验

2.3.1 培养时间对酵母提取物中 NA 含量的影响

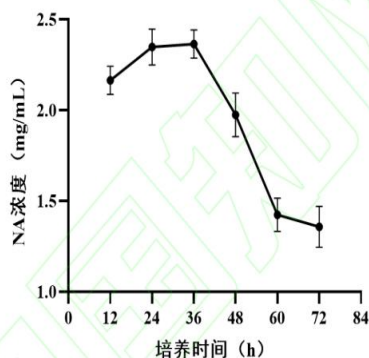


图 3 培养时间对酵母提取物中NA含量的影响

Fig.3 Influence of culture time on NA content in yeast extract

由图 3 可知,神经酸浓度随培养时间的延长呈先上升后下降的趋势,当培养时间为 12-36 h 时神经酸浓度逐渐增大,到达 36 h 时,神经酸浓度达到最大,为 2.37 mg/mL,随菌体的生长,菌体生物量逐渐增大,菌种提取物中神经酸浓度逐渐增加。当培养 36 h 后,神经酸浓度开始下降,这可能是由于培养时间过长,培养基中的营养物质减少,细胞缺乏外来碳源维

持生命活动,进入内源呼吸阶段,开始分解细胞内油脂来提供生命活动所需的能源,导致神经酸浓度降低。因此,选择最适培养时间为 36 h。

2.3.2 培养温度对酵母提取物中 NA 含量的影响

培养温度影响细胞内酶的活性,从而扰动细胞的代谢途径及强度,改变细胞(膜)中脂肪酸的比例,进而影响神经酸含量。培养温度对 NA 含量的影响如图 4 所示,神经酸浓度随培养温度的升高呈先上升后下降的趋势,当温度为 28℃时,神经酸浓度达到最大,为 2.31 mg/mL,由于温度影响着发酵过程中菌体的生长和油脂的产生,且圆红冬孢酵母菌的最适生长温度为 28℃-30℃,圆红冬孢酵母菌在此温度下处于生长繁殖旺盛的状态。温度过低或过高时都不利于菌体的生长和神经酸的产生。因此,选择最适培养温度为 28℃。

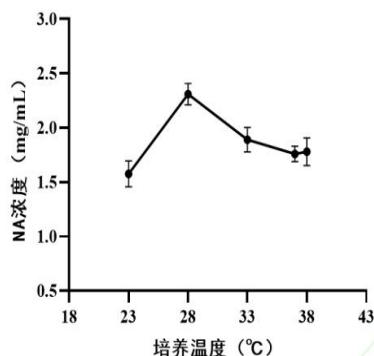


图4 培养温度对酵母提取物中NA含量的影响

Fig.4 Influence of culture temperature on NA content in yeast extract

2.3.3 菌种添加量对酵母提取物中 NA 含量的影响

菌种添加量过低或过高均会影响菌体的生长繁殖速度。由图 3-5 可知, 神经酸浓度随菌种添加量的增加呈先上升后下降的趋势。当菌种添加量为 2 %-10 % 时, 神经酸浓度不断增加, 菌种添加量为 10 % 时, 神经酸浓度达到最大, 为 2.38 mg/mL, 可能是由于在菌种添加量低时, 菌体量在种子液中所占比例不大, 此时营养物质充足, 菌种能够很好地生长繁殖。当菌种添加量大于 10 % 时, 神经酸含量开始降低, 可能是接种量过高时, 菌体开始结团生长, 内部菌体微环境恶劣, 单位菌体氧气供应量不足, 圆红冬孢酵母菌为好氧菌, 其油脂的积累受到抑制, 导致神经酸含量降低。因此, 选择最适菌种添加量为 10 %。

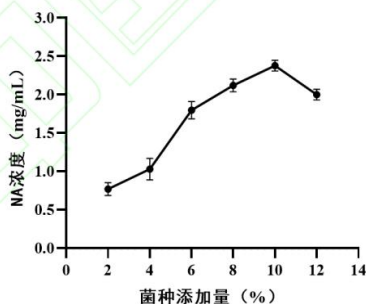


图5 菌种添加量对酵母提取物中NA含量的影响

Fig.5 Effect of strain addition amount on NA content in yeast extract

2.3.4 油添加量对酵母提取物中 NA 含量的影响

由图 6 可知, 神经酸浓度随辣木籽油添加量的增加呈先上升后下降的

趋势, 当油添加量为 1 %-6 % 时, 神经酸浓度逐渐增大, 油添加量为 6 % 时, 神经酸浓度达到最高, 为 2.42 mg/mL, 可能是由于外源添加的辣木籽油在圆红冬孢酵母菌的诱导下能够转化生产神经酸, 且随着油添加量的增加, 转化出的神经酸含量也逐渐增多。当油添加量大于 6 % 时, 神经酸含量开始下降, 可能是由于随着油添加量的继续增加, 消耗了过多的营养成分, 抑制了菌体的生长, 从而转化的神经酸减少。因此, 选择油添加量 6 % 为最适油添加量。

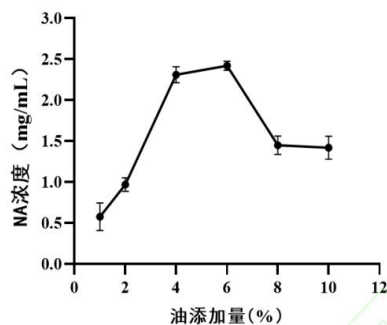


图6 油添加量对酵母提取物中NA含量的影响

Fig.6 Influence of oil supplemental level on NA content in yeast extract

2.4 响应面法优化含神经酸酵母提取物发酵条件

在单因素实验基础上, 选取对神经酸浓度影响较大的培养时间、菌种添加量和油添加量三个因素进行响应面实验, 优化含神经酸酵母提取物的发酵条件, 响应面实验设计与结果见表 2。利用 Design-Expert.v8.0.6.1 软件对表 4 中数据进行多元回归拟合, 求得神经酸浓度与各因素的回归方程,

为:

$$Y=2.32+0.41A+0.031B+0.091C+0.027AB+0.083AC+0.045BC-0.37A^2-0.059B^2-0.16C^2。$$

表 3 响应面实验设计与结果

Table 3 Experimental design and results of response surface

试验号	培养时间 (h)	菌种添加量 (%)	油添加量 (%)	神经酸浓度 (mg/mL)
1	0	0	0	2.34
2	0	1	1	2.30
3	0	-1	-1	1.43
4	0	-1	-1	1.98
5	0	0	0	2.32
6	1	1	0	2.38
7	-1	0	1	1.39
8	0	0	0	2.26
9	-1	-1	0	1.45
10	1	0	-1	2.01
11	1	0	1	2.30
12	-1	1	0	1.44
13	1	-1	0	2.28
14	0	1	-1	1.97
15	0	-1	1	2.13
16	0	0	0	2.33
17	0	0	0	2.34

表4 神经酸浓度回归模型方差分析及模型显著性检验

Table 4 Analysis of variance and significance test of neural acid concentration regression model						
来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
回归模型	2.20	9	0.24	79.49	< 0.0001	***
A-培养时间	1.33	1	1.33	432.42	< 0.0001	***
B-菌种添加量	7.813E-003	1	7.813E-003	2.54	0.1548	-
C-油添加量	0.067	1	0.067	21.68	0.0023	**
AB	3.025E-003	1	3.025E-003	0.98	0.3541	-
AC	0.027	1	0.027	8.86	0.0206	*
BC	8.100E-003	1	8.100E-003	2.64	0.1485	-
A ²	0.58	1	0.58	189.15	< 0.0001	***
B ²	0.015	1	0.015	4.77	0.0652	-
C ²	0.11	1	0.11	36.86	0.0005	***
残差	0.022	7	3.072E-003			
失拟项	0.017	3	5.675E-003	5.07	0.0755	不显著
纯误差	4.480E-003	4	1.120E-003			
总误差	2.22	16				

注: ***表示高度显著 ($P<0.001$) **表示极显著 ($P<0.01$) *表示显著 ($P<0.05$)

对神经酸浓度回归模型方差进行分析,回归模型 F 值为 79.49,高度显著 ($P<0.001$),失拟项 F 值为 5.07,不显著 ($P>0.05$),说明模型显著具有可行性,可用于优化含神经酸酵母提取物发酵条件实验,得到的响应值对各因素间交互作用的响应曲面和等

高线如图 3-7 所示。

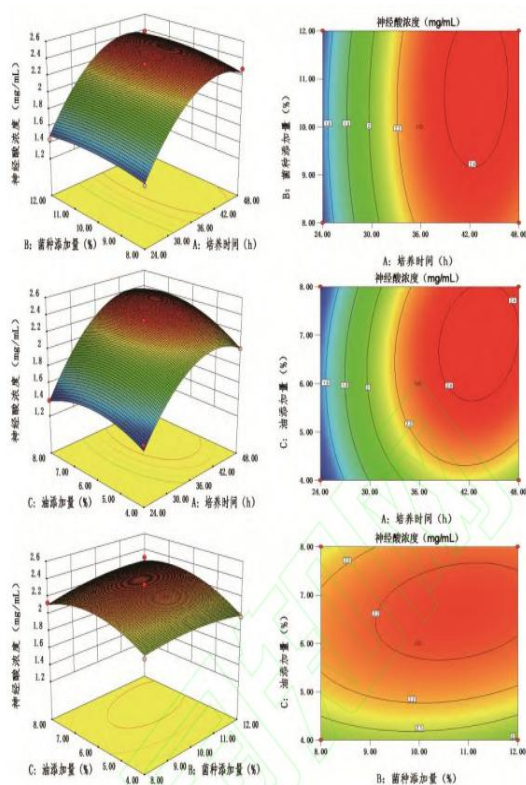


图7 各因素交互作用对NA浓度的影响

Fig.7 Influence of interaction of various factors on NA concentration

综合以上单因素和响应曲面分析结果,经过 Design-Expert.v8.0.6.1 软件计算得到响应面优化最佳发酵条件为:培养时间 48 h、菌种添加量 10.17 %、油添加量 6.63 %,在此条件下得到的神经酸浓度为 2.39 mg/mL。结合实际操作简便性,调整为培养时间 48 h、菌种添加量 10 %、油添加量 7 %,在此条件下进行 3 组平行实验,得到的神经酸浓度为 2.40 ± 0.02 mg/mL,与理论预测值接近,结果表明各因素对神经酸浓度影响能通过回归模型表现出来,通过响应面分析能较好地优化发酵条件。

2.5 脂肪酸组成及含量的测定

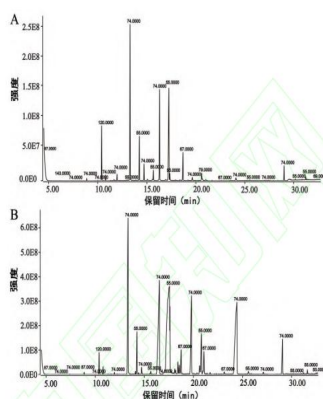


图8 圆红冬孢酵母原始菌冻干粉 (A) 和最优发酵条件酵母提取物冻干粉 (B) 脂肪酸测定色谱图
Fig.8 Determination of fatty acid chromatogram: Saccharomyces rhodosporel(A); Yeast extract under optimal fermentation conditions (B)

表5 脂肪酸测定结果

Table 5 fatty acid determination results

脂肪酸种类	圆红冬孢酵母菌冻干粉 ($\mu\text{g/g}$)	最优发酵条件酵母提取物 冻干粉 ($\mu\text{g/g}$)	提升率 (%)
己酸 (C6:0)	0.23	0.598	160.0
辛酸 (C8:0)	0.743	1.788	140.6
癸酸 (C10:0)	0.771	5.644	632.0
十一烷酸 (C11:0)	0.707	0.892	26.2
月桂酸 (C12:0)	10.129	21.93	116.5
十三烷酸 (C13:0)	0.649	0.777	19.7
肉豆蔻酸 (C14:0)	36.378	123.178	238.6
顺-9-肉豆蔻烯酸 (C14:1)	13.717	9.702	-29.3
十五烷酸 (C15:0)	29.636	28.077	-5.3
顺-10-十五烯酸 (C15:1)	4.769	4.273	-10.4
棕榈酸 (C16:0)	611.427	1761.254	188.1
顺-9-棕榈油酸 (C16:1)	554.041	1313.753	137.1
十七烷酸 (C17:0)	106.876	117.028	9.5
顺-10-十七烯酸 (C17:1)	132.518	102.342	-22.8
硬脂酸 (C18:0)	288.627	118.837	-58.8
反油酸 (C18:1N9T)	15.901	42.498	167.3
油酸 (C18:1N9C)	653.443	999.029	52.9
反亚油酸 (C18:2N6T)	6.002	235.991	3831.9
亚油酸 (C18:2N6)	523.372	1100.961	110.4
花生酸 (C20:0)	25.803	613.237	2276.6
γ -亚麻酸 (C18:3N6)	1.891	58.891	3014.3
顺-11-二十碳烯酸 (C20:1)	53.79	325.98	506.0
α -亚麻酸 (C18:3N3)	100.327	253.828	153.0
二十一烷酸 (C21:0)	5.623	62.577	1012.9
顺-11,14-二十碳二烯酸 (C20:2)	4.836	39.148	709.5
山萘酸 (C22:0)	43.795	609.756	1292.3
HOMO- γ -亚麻酸 (C20:3N6)	2.82	36.431	1191.9
芥酸 (C22:1N9)	5.737	71.819	1151.9
顺-11,14,17-二十碳三烯酸 (C20:3N3)	3.725	5.409	45.2
花生四烯酸 (C20:4N6)	4.275	12.861	200.8
二十三烷酸 (C23:0)	6.654	111.067	1569.2

顺-13, 16-二十二碳二烯酸 (C22:2)	5.61	3.267	-41.8
EPA (C20:5N3)	2.401	3.976	65.6
木蜡酸 (C24:0)	172.911	802.298	364.0
神经酸 (C24:1)	10.983	13.518	23.1
DHA (C22:6N3)	5.658	3.372	-40.4

对圆红冬孢酵母原始菌冻干粉和最优发酵条件酵母提取物冻干粉进行GC-MS检测脂肪酸种类及含量,结果如图8和表5所示,圆红冬孢酵母原始菌冻干粉中饱和脂肪酸(占总脂肪酸)为39.81%,以棕榈酸(C16:0)、硬脂酸(C18:0)和木蜡酸(C24:0)为主;单不饱和脂肪酸占43.19%,以顺-9-棕榈油酸(C16:1)、顺-10-十七烯酸(C17:1)、油酸(C18:1N9C)和 α -亚麻酸(C18:3N3)为主;多不饱和脂肪酸占17%,以亚油酸(C18:2N6)为主。最优发酵条件酵母提取物冻干粉中饱和脂肪酸占45.09%,以棕榈酸(C16:0)、顺-11-二十碳烯酸(C20:1)和木蜡酸(C24:0)为主;单不饱和脂肪酸占30.78%,以顺-9-棕榈油酸(C16:1)、油酸(C18:1N9C)和 α -亚麻酸(C18:3N3)为主;多不饱和脂肪酸占24.23%,以亚油酸(C18:2N6)和花生酸(C20:0)为主。其中圆红冬孢酵母菌冻干粉中神经酸含量为10.983 $\mu\text{g/g}$,最优发酵条件酵母提取物冻干粉中神经酸含量为13.518 $\mu\text{g/g}$,比圆红冬孢酵母原始菌冻干粉中神经

酸含量提升了 23 %，说明以辣木籽油为底物时能够促进圆红冬孢酵母菌转化生产出更多的神经酸，同时还有多种不饱和脂肪酸的含量也显著提高，如花生酸（C20:0）、 γ -亚麻酸（C18:3N6）、 α -亚麻酸（C18:3N3）、顺-11,14-二十碳二烯酸（C20:2）、HOMO- γ -亚麻酸（C20:3N6）、二十三烷酸（C23:0）等。本实验所得圆红冬孢酵母提取物中神经酸的含量虽然显著提高，但由于圆红冬孢酵母菌种自身神经酸含量很低，通过发酵条件优化后获得的神经酸占比相对较低，最终实现产业化生产还有一定局限性。后续研究中可以结合转录组学和代谢组学技术挖掘圆红冬孢酵母以油为底物发酵产神经酸的主要通路及合成机制，进一步探讨其参与神经酸合成的主要调控因素，以达到神经酸高产的目的。

3 结论

本文以云南特色辣木籽油为底

物，从 4 种产油菌株中筛选出产神经酸较高的菌种，进行发酵条件优化并采用 GC-MS 测定工艺优化前后酵母提取物中脂肪酸组成及含量。通过气相色谱仪检测 4 种产油菌种提取物中神经酸含量，确定圆红冬孢酵母菌为产神经酸最佳菌株；通过单因素结合响应面法得到最优发酵条件为：培养时间 48 h、菌种添加量 10 %、油添加量 7 %，在此工艺下得到酵母提取物中神经酸浓度为 2.40 mg/mL；采用气相色谱质谱联用仪检测圆红冬孢酵母原始菌冻干物中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸（占总脂肪酸）分别为 39.81 %、43.19 %、17 %，神经酸含量为 10.983 $\mu\text{g/g}$ ；最优发酵条件酵母提取冻干物中分别为 45.09 %、30.78 %、24.23 %，神经酸含量为 13.518 $\mu\text{g/g}$ ，比圆红冬孢酵母原始菌冻干物中神经酸含量提升了 23 %。研究为微生物发酵法获取神经酸提供了新思路。

青刺果凝乳酶对发酵型干酪质构特性及主要风味物质的影响

陈晓珊，吴改转，李东，黄艾祥，王雪峰

（云南农业大学，食品科学技术学院，云南 昆明，650201）

摘要：利用青刺果凝乳酶加工发酵型干酪，以小牛凝乳酶和木瓜凝乳酶为对照，从色差、质构、游离脂肪酸和游离氨基酸等方面进行分析，探究其对发酵型干酪质构特性和主要风味物质的影响。结果显示，青刺果凝乳酶加工干酪的 ΔE 值与对照组差异显著（ $P<0.05$ ）；干酪在硬度、凝聚性、黏性、咀嚼性、恢复性上显著高于对照组（ $P<0.05$ ），弹性与木瓜凝乳酶加工干酪差异不显著（ $P>0.05$ ），但显著高于小牛凝乳酶加工干酪（ $P<0.05$ ），表明青刺果凝乳酶加工干酪可以改善其质构特性；干酪的总游离脂肪酸含量与对照组差异不显著（ $P>0.05$ ），但总游离氨基酸含量显著低于对照组（ $P<0.05$ ），通过偏最小二乘判别分析筛选出 14 种重要风味物质，其中有 3 种游离脂肪酸和 6 种游离氨基酸之间存在较好的交互效果，对干酪风味产生影响。研究为青刺果凝乳酶在干酪加工中的应用提供了参考。

关键词：青刺果凝乳酶；发酵型干酪；质构特性；游离脂肪酸；游离氨基酸

青刺果（*Prinsepia Utilis Royle*），别名打油果，蔷薇科扁核木属，是一种常绿灌木，主要分布在云贵川等海拔较高的地区，也是在滇少数民族长期食药用的植物之一。青刺多部位检测到橙皮苷、槲皮素等活性化合物，这些活性化合物具有极强的抗氧化性。从青刺果中提取到的多糖类和黄酮类提取物，具有降血糖和血脂、保护和免疫调节等药理作用。青刺果仁含油率 40 % 以上，青刺果油具有一定调节血脂、抗氧化和体外抑制血小板聚集的作用。青刺果种子和油粕中含有多种营养物质及酚类物质，具有良好的抗氧化活性。油粕含有丰富的活性物质，其中粗蛋白含量高达 24.58 %。前青刺果的开发利用以油为

主，有关蛋白质的部分未得到合理开发利用，有必要对其进行综合利用。

干酪是一类以牛乳为原料的发酵制品，因含有丰富的营养成分，被冠以“黄金奶”的美称，是一种营养丰富的奶制品。在干酪的发酵成熟过程中，用于发酵的微生物会将其中的蛋白质、脂肪等物质分解成小分子物质，故成熟后的干酪相比牛奶更适于人体的吸收利用。干酪促熟的本质是加速其在成熟过程中的生化反应。凝乳酶是干酪生产中使牛乳凝固的关键性酶，主要包含动物源凝乳酶、植物源凝乳酶和微生物源凝乳酶这 3 种。除凝乳作用外，凝乳酶还对干酪的质构特性及特有风味的形成起到重要作用。凝乳酶能有效地凝固乳，并在胃

中较长时间保留乳蛋白沉淀物,使沉淀物充分暴露于蛋白水解酶。它专门裂解酪蛋白链中的部分多肽键,使牛奶凝结,可以用于干酪的生产加工。传统工艺主要以动物源凝乳酶为酶制剂,但目前动物源凝乳酶的生产量远远无法满足工业生产的需要。奶牛数量的逐渐减少、干酪需求量的逐渐增加以及动物源凝乳酶可能会受到如犹太食品认证和素食批准等的宗教原因的限制等因素使研究人员逐渐把目光转移到其他凝乳酶的开发而微生物凝乳酶在干酪成熟过程中不能产生正确的风味,暴露于化学物质中还会使其性质发生重要变化。传统植物源凝乳酶在干酪加工中容易产生苦味肽,凝乳活性低,蛋白水解活性高,产品风味与传统差距较大而导致其开发受到限制,在干酪的加工应用较少。因此,寻找新的植物源凝乳酶成为了凝乳酶开发的一个重要途径。

我们前期发现青刺果蛋白提取物具有凝乳效果,有可能成为新的凝乳酶制剂应用于干酪的加工中。通过 AS 分级沉淀法发现饱和度 20 %~50 % AS 沉淀出的蛋白具有较好的凝乳特性,可以将其作为凝乳剂用于干酪加工:通过酶学特性研究,结果显示,该凝乳酶的最适温度为 80℃,最适 pH 值

为 5,氯化钙对凝乳酶凝乳活力有促进作用,氯化钠对凝乳酶凝乳活力主要起抑制作用,可以进一步用于干酪加工。本实验利用青刺果凝乳酶加工发酵型干酪,以木瓜凝乳酶和小牛凝乳酶为对照,通过分析 3 种凝乳酶加工干酪的色差、质构、游离脂肪酸和游离氨基酸等,探究青刺果凝乳酶对发酵型干酪质构特性和主要风味物质的影响,为青刺果凝乳酶在干酪加工中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1 材料与试剂

青刺果,云南省丽江市云南尚品馆;奶粉,市售安佳脱脂奶粉;新鲜牛奶,云南省昆明市嵩明镇农家自产奶。硫酸铵(分析纯)、氯化钠(分析纯)、氢氧化钠(分析纯),天津市风船化学试剂科技有限公司;氯化钙(分析纯),河南省豫万邦供应链管理有限公司;茚三酮(色谱纯),德国 Sykam;甲醇(色谱纯),Fisher chemical;正己烷(色谱纯),CINC;盐酸(分析纯),川东化工有限公司;发酵剂(50 DCU),DANISCO。

1.2 仪器与设备

FW-200 高速万能粉碎机,北京中兴伟业仪器有限公司;FD-1A-50 真空



冷冻干燥机,上海比朗仪器制造有限公司; HH-6 数显恒温水浴锅, 国华电器有限公司; SHZ-D 循环水式真空泵, 巩义市予华仪器有限责任公司; AX223 ZH/E 电子天平、STARTER3100pH 计, 奥豪斯仪器(常州)有限公司; EPED-ESL-10TH 超纯水机, 南京易普易达科技发展有限公司; SCQ-92018 超声波提取仪, 上海声彦超声波仪器有限公司; EASY-nLC1200 串联液相色谱仪, ThermoFisher Scientific; Vortex-Genie 2 漩涡混匀仪, 美国 SI:ABS-MS-078 恒温混匀仪, ABSON:Centifuge 5430R 冷冻离心机, Eppendor; LNG-T98 冷冻离心浓缩干燥器, 太仓市华美生化仪器厂; HWS24 电热恒温水浴锅, 上海一恒科技有限公司; J-1 电动磁力搅拌器, 常州澳华仪器有限公司; LD-6M 大型离心机, 四川蜀科仪器有限公司; DW-40L262 冰箱(-40℃), 青岛海尔特种电器有限公司; SCIENTZ-18N 冷冻干燥机, 宁波新芝生物科技股份有限公司; Q-Exactive HF-X 串联质谱仪, Thermo Fisher Scientific; CM-5 分光色差计; 广州卓协议仪器设备有限公司; TA.XT-Plus 质构仪, 超技仪器有限公司; S-433 氨基酸分析仪, 德国 Sykam。

1.3 实验方法

1.3.1 青刺果凝乳酶的制备

先将筛选过后的青刺果进行粉碎操作,称取 100g 粉碎后的青刺果放入烧杯中。按照料液比 1:10,加入 0.3mol 的 NaCl 溶液 1000 mL,后加入 1mol 的 NaOH 溶液至混合液 pH 为 7.2。在 30℃水浴条件下,用电动搅拌器搅拌,用纱布过滤提取 1h,再用高速离心机在 4000 r/min 条件下离心 15min。去除上层油脂和下层沉淀,剩余澄清液即为目标盐提液。量取一定体积的盐提液,使用磁力搅拌器在 500 r/min 的条件下缓慢加入硫酸铵粉末至饱和程度达 20%~50%,放置于 4℃冰箱中,沉淀 20 min,再使用高速离心机在 4500 r/min 的条件下离心 15 min,取出沉淀,溶解在水中,透析 48h(透析袋截留分子质量为 3.5 kDa),经真空冷冻干燥后,得到青刺果凝乳酶,将其置于-40℃条件下进行保存,用于后续干酪加工。

1.3.2 发酵型干酪的加工工艺

新鲜水牛乳→巴氏杀菌(70℃, 15s)→冷却(38℃)→发酵剂(0.3%)→搅拌溶解→pH 降至 6.2→CaCl₂ 溶液(0.1%,浓度为 200 mg/mL)→搅拌均匀→NaCl 溶液溶解的凝乳酶(0.2%,浓度为 2mg/mL)→搅拌均匀→凝乳(40℃水浴)→pH 降至 5.3→

切割、排乳清→pH 降至 5.0→倒出→堆叠（2 %的食盐）→模型压制成型→真空包装→储藏（4℃）。

1.3.3 干酪的得率及色差测定

准确记录所使用的各原料质量以便计算干酪得率。本文使用原料乳 2 L 加工干酪并计算得率。计算公式（1）如下：

$$\text{得率}(\%) = \frac{m}{M} \times 100 \quad (1)$$

式中： m 为干酪的重量， M 为原料总重。利用分光色差仪测定得到的青刺果凝乳酶加工干酪（以下简称 QCG 组）、木瓜凝乳酶加工干酪（以下简称 MG 组）和小牛凝乳酶加工干酪（以下简称 XN 组）的 L^* （亮度值）、 a^* （红度值）和 b^* （黄度值）。 L^* 值表示从黑色（0）到白色（100）变化， a^* 值表示从红色（100）到绿色（-80）变化， b^* 值表示从黄色（100）到蓝色（-80）变化。利用公式计算总色差值 ΔE ，得到 3 种干酪之间的色度偏差。公式如下：

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (2)$$

1.3.4 干酪的质构测定

硬度为样品达到一定变形所必需的力(g)；弹性为第 1 次压缩的结束与第 2 次压缩的开始间，样品能恢

复的高度之间的比值；凝聚性为第 2 次压缩出现的峰面积与第 1 次的峰面积的比值；黏性为硬度与内聚性的乘积(g)；咀嚼度为黏性与弹性的乘积，即硬度、内聚性、弹性三者之积(g)。

利用 TPA 试验测定质构特性参数，使用样品 2 次压缩的方法，各项指标均重复 3 次。将样品切成 2 cm×2 cm×2 cm 的小块，放置在压缩盘中心，方向垂直于压缩盘。TA-XT2 质构仪测定参数设定：探头规格：T 形探头，直径 38 mm；测试压缩比：50 %；探头下行速度：1cm/sec；探头返回速度：1cm/sec，两次间隔时间 5s，触发力 5.0g，获得干酪的硬度、弹性、凝聚性、胶黏性、咀嚼性、恢复性等质构特性参数。

1.3.5 干酪中游离脂肪酸测定

以 GB/T 5009.168-2016《食品中脂肪酸的测定》为标准，对样品进行预处理。

样品前处理办法：称取样品 0.3g，加入 3 mL 正己烷，用 0.8 mol/L 氢氧化钠-甲醇溶液密封，在超声振荡仪中超声 2 h 后，静置 30 min，用高速离心机在 3 000 r/min 的条件下离心 10 min，静置 30 min，分层，取出上层溶液，样品用 0.45 μm 微滤膜过滤。使用 Agilent 5977B GC-MSD 色



谱仪进行测定。GC 色谱条件: 色谱柱: Agilent19091N-133:HP-INNOWax(30 μm $\times$ 250 μm $\times$ 0.25 μm); 气体: 氮气 (99.99 %); 流速: 1 mL/min; 进样口温度为: 280 $^{\circ}\text{C}$; 分流比: 20:50; 柱箱升温程序: 初始温度为 50 $^{\circ}\text{C}$, 保持 3 min, 运行时间 3 min; 梯度 1: 温度为 210 $^{\circ}\text{C}$, 保持 0 min, 速率为 8 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 运行时间 23 min; 梯度 2: 温度为 225 $^{\circ}\text{C}$, 保持 7 min, 速率为 1 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 运行时间 45 min。MS 参数条件: 离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$; 柱温 50 $^{\circ}\text{C}$; 进样口温度 280 $^{\circ}\text{C}$; 色谱柱流量 1 mL/min; 最高使用温度 400 $^{\circ}\text{C}$; 四级杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$; MSD 质量选择检测器。

1.3.6 干酪中游离氨基酸测定

以 GB/T 5009.124—2003 《食品中氨基酸的测定》为标准, 使用氨基酸自动分析仪对样品中的游离氨基酸进行测定。

样品前处理方法: 称取干酪样品 30 mg, 称好的样品放入 20 mL 安瓿瓶中 (样品避免黏在瓶壁), 随后加入 6 mol/L 的 HCl 溶液 10 mL, 超声波振荡, 样品完全溶解后, 用喷火枪封管, 然后将封好口的安瓿瓶置于 110 $^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中, 23 h 后取出冷却, 用滤纸过滤后的滤液放到石英坩埚

中, 在通风橱中水浴锅 70 $^{\circ}\text{C}$ 蒸干, 再加入样品稀释液 3 mL, 混匀后, 用 0.45 μm 微滤膜过滤, 滤液加入进样瓶, 等待上机。氨基酸自动分析仪的条件: 采用离子交换色谱法-茚三酮柱后衍生法测定, 阳离子交换柱: 4.6 mm $\times$ 60 mm; 柱温: 57 $^{\circ}\text{C}$, 检测器温度 135 $^{\circ}\text{C}$; 缓冲溶液的流速 0.45 mL/min, 茚三酮的流速 0.25 mL/min; 检测波长: 第一通道 570 nm, 第二通道 440 nm; 进样量: 20 μL ; 分析时间: 130 min。

2 结果与分析

2.1 干酪的得率及色差分析

本文使用 3 种凝乳酶加工发酵型干酪, XN 组得率 15.2 %, QCG 组得率 14.6 %, MG 组得率 11.35 %。

表 1 给出了不同凝乳酶加工干酪的色差值结果。其中, QCG 组的 L^* 值和 a^* 值与 XN 组差异不显著 ($P>0.05$), 但显著低于 MG 组 ($P<0.05$)。3 种干酪的 a^* 值和 b^* 值都为正值, MG 组的色泽偏红, XN 组的色泽偏黄。3 种干酪的 ΔE 存在显著差异 ($P<0.05$), QCG 组的 ΔE 介于对照组之间, XN 组与 MG 组的差异最大。整体来说, QCG 组呈乳白色, 稍有光泽, 与传统干酪相近, 可以用于干酪的加工。

表1 干酪色差值
Table 1 Color difference of cheese

干酪样品	校准品	QCG 组	MG 组	XN 组
L^*	71.88	77.28±2.00 ^b	85.95±0.49 ^a	78.87±1.47 ^b
a^*	-0.14	0.73±0.23 ^b	1.16±0.08 ^a	0.61±0.13 ^b
b^*	28.73	13.52±0.64 ^{bc}	14.70±0.14 ^{ab}	15.84±1.09 ^a
ΔE	/	16.16 ^b	19.61 ^a	14.68 ^c

注：同一行上标相同字母者差异不显著 ($P>0.05$)，同一行上标不同字母者差异显著 ($P<0.05$)。

2.2 干酪的质构特性分析

干酪质构对其口感影响深远，不同的加工方式对干酪质构特性也有不同的影响。3种干酪在硬度、凝聚性、黏性、咀嚼性和恢复性这5个方面均差异显著 ($P<0.05$)。其中，QCG组在3种干酪中的硬度最大、凝聚性最好、黏性最强、咀嚼性最佳，恢复性最好，说明在此加工工艺条件下，QCG组具有更好的抗压性，可以形成更强劲稳

定的胶束体系和较好的持续抵抗性，QCG组和MG组的弹性差异不显著 ($P>0.05$)，相比XN组更富有弹性 ($P<0.05$)，这可能与不同种类凝乳酶作用的肽键差异有关。青刺果凝乳酶加工干酪相比传统干酪凝聚性更好、黏性更大、咀嚼性更好、恢复性更优，口感丰富，富有嚼劲，这说明青刺果凝乳酶加工干酪可以改善干酪质构特性，可以用于干酪的加工。

表2 质构测定特征参数
Table 2 Characteristic parameters of texture determination

组别	QCG 组	MG 组	XN 组
硬度/g	6 348±16.4 ^a	5 527±2.97 ^b	4 587±6.9 ^c
弹性/m	0.617 4±0.005 ^a	0.618 4±0.007 ^a	0.476 2±0.029 ^b
凝聚性	0.405 6±0.009 ^a	0.344 6±0.013 ^b	0.248 2±0.001 ^c
黏性	2 582±4.72 ^a	1 807±2.77 ^b	1 134±3.30 ^c
咀嚼性/g	1 443±9.53 ^a	1 270±9.37 ^b	486±1.32 ^c
恢复性	0.103 6±0.001 ^a	0.093 1±0.001 ^b	0.055 6±0.001 ^c

注：同一行上标相同字母者差异不显著 ($P>0.05$)，同一行上标不同字母者差异显著 ($P<0.05$)。

2.3 干酪中游离脂肪酸分析

干酪的原料乳中存在脂肪。在发酵过程中，脂肪在脂肪酶的作用下水解成脂肪酸、醇类等化合物。脂肪降解对干酪风味的形成起着关键的作用。游离脂肪酸 (free fatty acids, FFA) 主要包含了短链脂肪酸 (short-chain fatty acid, SCFA)、中链脂肪酸

(medium-chain fatty acid, MCA)、长链脂肪酸 (long-chain fatty acid, LCFA) 等，这些 FFA 是构成产品滋味和形成产品风味的重要原料。中短链的 FFA 具有典型的风味特征，长链 FFA 虽不直接呈味，但在食品风味形成中也有着特殊的作用。在干酪制品中，月桂酸、肉豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸等游离脂肪酸

的含量影响着干酪口感的圆润程度。

2.3.1 干酪的游离脂肪酸含量

QCG 组和 MG 组的 FFA 共有 23 种。XN 组共有 22 种, 相较其他两组少了一种 LCFA 十三烷酸。QCG 组的 FFA 总含量最高, 但 3 种干酪的总含量差异不显著 ($P>0.05$)。3 组的 LCFA 在组内的含量均最多, MCFA 次之, SCFA 最低: QCG 组的 LCFA 和 MCFA 含量相较 MG 组和 XN 组更高, SCFA 含量高于 XN 组: MG 组的 LCFA 和 MCFA 含量高于 XN 组, SCFA 含量高于 QCG 组和 XN 组。

SCFA 对干酪的风味影响最大。3 种干酪的 SCFA 含量差异不显著, 丁酸有助于干酪味的形成, 己酸则赋予干酪一定的辛辣味, QCG 组的 MCFA 含量差异略高于对照组, 其中辛酸赋予干酪奶味, 月桂酸是干酪酸味的主要贡献物质, 月在 QCG 组的含量最高 ($P>0.05$), LCEA 通常具有较高的风

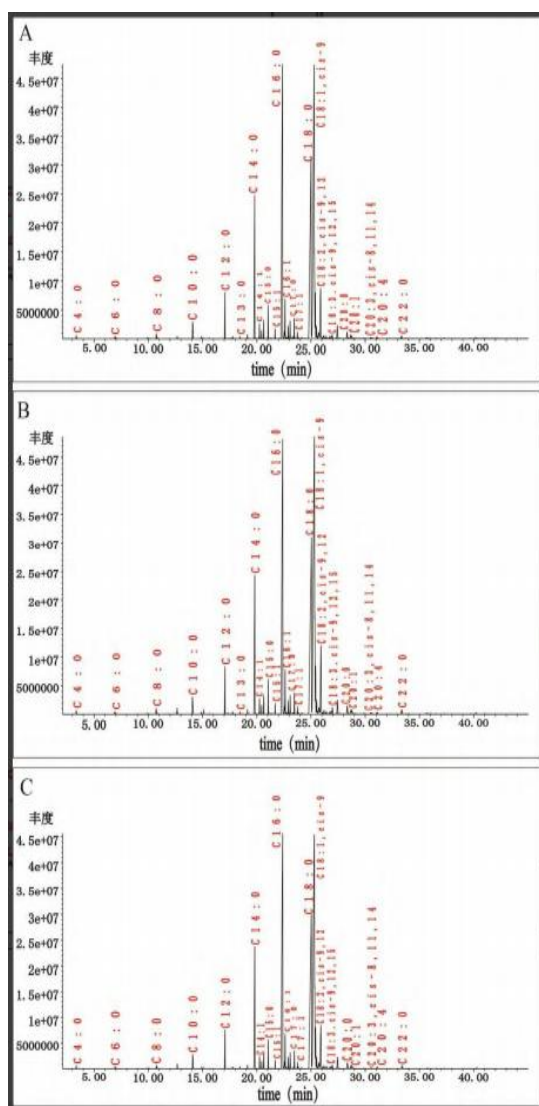
味感知阈值, 在代谢途径中主要作为其他风味化合物的前体, 3 种干酪共有的 LCEA 有 17 种, 含量较高的是棕榈酸和硬脂酸, 这两种 EEA 是脂肪的基本组成成分之一。棕榈酸在不过量摄入的情况下, 可以作为天然的饱和高级脂肪酸为机体提供能量。不饱和脂肪酸是人体不可缺少的一种脂肪酸, 它能保证细胞的正常生理功能, 减低血中胆固醇, 改善血液循环等, 3 组检测到饱和脂肪酸共 10 种, QCG 组含量高于对照组。人体需要摄入一定量的必需脂肪酸, 如亚麻酸、亚油酸和花生四烯酸。亚油酸对人体的新陈代谢有重要作用, 只能从外界摄取。花生四烯酸在人体可以通过亚油酸合成, 是细胞膜不可缺少的物质, 对调节血压有间接作用。3 组都检测到亚油酸和花生四烯酸这两种必需脂肪酸, QCG 组的花生四烯酸含量高于对照组, 亚油酸含量略高于 XN 组而低于 MG 组。

表3 干酪中游离脂肪酸含量
Table 3 Content of free fatty acids in cheese

序号	游离脂肪酸 (FFA)	QCG 组/%	MG 组/%	XN 组/%
1	丁酸 (C4:0)	0.061 2±0.001 ^a	0.052 8±0.023 ^a	0.051 7±0.014 ^a
2	己酸 (羊油酸) (C6:0)	0.014 8±0.008 ^a	0.033 6±0.043 ^a	0.006 8±0.010 ^a
3	辛酸 (羊脂酸) (C8:0)	0.038 9±0.007 ^a	0.032 5±0.021 ^a	0.024 5±0.012 ^a
4	癸酸 (羊蜡酸、发酸) (C10:0)	0.164 3±0.017 ^a	0.153 5±0.047 ^a	0.134 7±0.030 ^a
5	月桂酸 (C12:0)	0.234 6±0.012 ^a	0.224 4±0.044 ^a	0.208 1±0.030 ^a
6	十三烷酸 (C13:0)	0.000 8±0.001 ^a	0.002 2±0.000 ^a	/
7	肉豆蔻酸 (C14:0)	1.048 4±0.025 ^a	1.023 8±0.013 ^a	0.982 9±0.078 ^a
8	肉豆蔻酸烯酸 (C14:1)	0.123 9±0.006 ^a	0.120 3±0.025 ^a	0.111 5±0.016 ^a
9	十五烷酸 (C15:0)	0.286 3±0.006 ^a	0.279 4±0.039 ^a	0.273 5±0.018 ^a
10	十五碳烯酸 (C15:1)	0.330 0±0.006 ^a	0.325 6±0.040 ^a	0.317 2±0.015 ^a
11	棕榈酸 (C16:0)	2.816 5±0.051 ^a	2.793 4±0.302 ^a	2.744 ±0.129 ^a
12	棕榈油烯酸 (C16:1)	0.349 8±0.012 ^a	0.362 ±0.0600 ^a	0.340 7±0.024 ^a

13	珍珠酸 (C17:0)	0.171 6±0.003 ^a	0.169 2±0.019 ^a	0.171 7±0.003 ^a
14	银杏酸 (C17:1)	0.065 7±0.002 ^a	0.067 3±0.007 ^a	0.063 8±0.004 ^a
15	硬脂酸 (C18:0)	3.606 3±0.056 ^a	3.549 2±0.309 ^a	3.604 4±0.083 ^a
16	油酸 (C18:1)	3.800 2±0.086 ^a	3.940 8±0.613 ^a	3.885 0±0.140 ^a
17	亚油酸 (C18:2)	0.692 9±0.027 ^a	0.815 0±0.325 ^a	0.636 3±0.038 ^a
18	顺 9 十八碳三烯酸 (C18:3, cis-9,12,15)	0.025 4±0.002 ^a	0.046 6±0.037 ^a	0.025 4±0.005 ^a
19	花生酸 (C20:0)	0.042 3±0.007 ^a	0.046 6±0.019 ^a	0.051 0±0.003 ^a
20	花生烯酸 (C20:1)	0.028 1±0.024 ^a	0.043 7±0.000 ^a	0.033 0±0.000 ^a
21	花生三烯酸 (C20:3)	0.145 2±0.193 ^a	0.008 5±0.004 ^a	0.008 6±0.001 ^a
22	花生四烯酸 (C20:4)	0.294 5±0.390 ^a	0.018 6±0.005 ^a	0.018 3±0.003 ^a
23	山酸 (C22:0)	0.280 2±0.393 ^a	0.038 4±0.000 ^a	0.023 7±0.002 ^a
	总含量	14.622±0.937 ^a	14.147±2.142 ^a	13.717±0.660 ^a

注: 序号 1~2 为 SCFA, 3~5 为 MCFA, 6~23 为 LCFA。同一行上标相同字母者差异不显著 ($P>0.05$), 同一行上标不同字母者差异显著 ($P<0.05$)。



A-QCG 组; B-MG 组; C-XN 组

图 1 干酪游离脂肪酸测定谱图

Fig.1 Determination of free amino acids in cheese

2.3.2 干酪中游离脂肪酸的热图分析

聚类热图法是一类聚合试验结果、以渐进色带直观展现数据疏密及相关性的数据挖掘方法, 可进行横向和纵向聚类, 通常热图颜色的深浅反映数据结果的高低。图 2 为游离脂肪酸的聚类热图, 为更好地展现 3 组之间的 FFA 丰度差异, 图中只展示组分平均值。QCG 组在丁酸、花生三烯酸、十五烷酸、花生四烯酸、肉豆蔻酸烯酸、十五碳烯酸、棕榈酸、辛酸、葵酸、月桂酸、肉豆蔻酸这 11 组 FFA 丰度显著。MG 组在十三烷酸、棕榈油烯酸、银杏酸、顺 9 十八碳三烯酸、己酸、亚油酸、油酸、花生烯酸这 8 组 FFA 丰度显著。XN 组在花生酸、山

酸这 2 组 FFA 丰度显著。其中, QCG 组和 XN 组的珍珠酸和硬脂酸差异较小, 丰度均大于 MG 组。

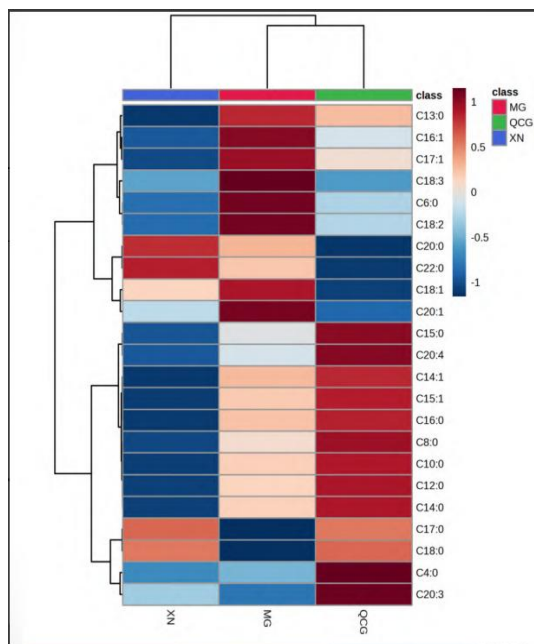


图 2 干酪中的游离脂肪酸热图

Fig.2 Heatmap of free fatty acids in cheese

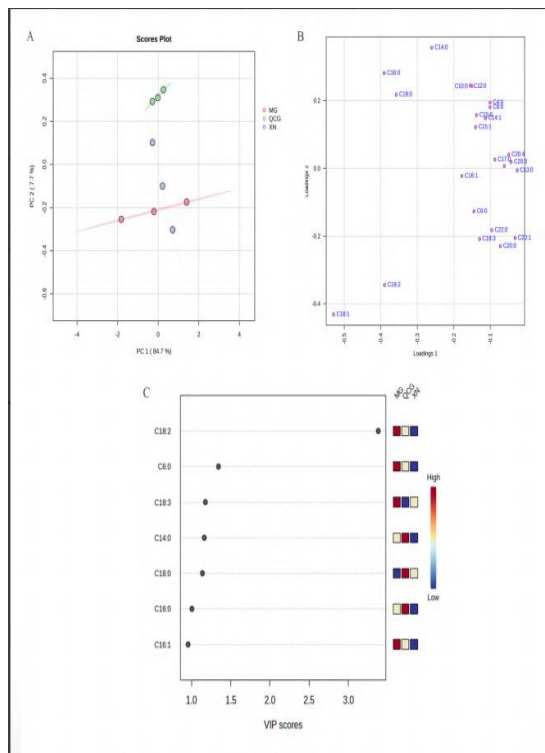
2.3.3 干酪中游离脂肪酸的主成分分析 (principal component analysis, PCA) 和偏最小二乘判别分析 (partial least squares -discriminant analysis, PLS-DA) 分析

PCA 是一种常见的多指标评价方法, 通过主成分分析对不同凝乳酶组中 FFA 的主要风味贡献物质进行分析。图 3-A 中 PC1 贡献率为 84.7%, PC2 贡献率为 7.7%, PC1 和 PC2 之和为 92.4%, 总和大于 80%, 即两个主成分可以解释 92.4% 的变量, 基本可以反映 3 组干酪 FFA 的大部分信

息。QCG 组分布在纵坐标的正半轴, XN 组样品分布在中心附近, MG 组样品分布在纵坐标的负半轴。QCG 组与对照组组间差异显著, XN 组和 MG 组内差异显著, QCG 组内差异不显著。QCG 组、MG 组和 XN 组在 PC1 成分的差异较不显著, QCG 组的分值略低于 XN 组而略高于 MG 组。PC2 成分中, QCG 组显著高于 XN 组和 MG 组, 而 XN 组略高于 MG 组。图 3-B 中可以看出, QCG 组的主要贡献物质是棕榈酸、肉豆蔻酸、硬脂酸、癸酸、月桂酸、丁酸、辛酸、十五烷酸、肉豆蔻酸烯酸、十五碳烯酸。MG 组的主要贡献物质是油酸、亚油酸、顺 9 十八碳三烯酸、棕榈油烯酸、花生酸、己酸、花生酸、山酸、花生烯酸。

通过 PLS-DA 筛选 VIP 得分 > 1 的重要风味物质。图 3-C 中展示的是筛选出的 6 个重要风味物质, 依次分别是: 亚油酸、己酸、顺 9 十八碳三烯酸、肉豆蔻酸、硬脂酸、棕榈酸。其中棕榈酸、亚油酸、肉豆蔻酸对干酪特征风味的形成有重要影响。干酪在经过发酵液发酵后, 乳酸菌可能对有机酸含量的增加具有贡献, 部分有机酸之间存在协同效应, 对干酪的口感起到调节作用, 使酸味变得柔和、醇厚。花生四烯酸、十八碳烯酸等高

级脂肪酸与小分子有机酸的协同作用可赋予发酵食品特有的酸香味和醇香味, 增加滋味的丰富度和层次感。



A--参看得分图; B-载荷图; C-VIP 评分

图 3 干酪中游离脂肪酸主成分分析和偏最小二乘判别分析

Fig.3 PCA and PLS-DA of free fatty acids in cheese

2.4 干酪中游离氨基酸分析

干酪中的蛋白质在残留的凝乳酶、蛋白酶以及微生物的作用下可以逐渐降解成肽及氨基酸。游离氨基酸是蛋白质水解过程中产生的, 也是干酪特征风味物质的来源之一, 它们是影响干酪味道的重要因素, 尤其是在干酪后熟阶段, 游离氨基酸是主要的

呈味物质。不同种类的乳酸菌和微生物在不同的干酪的发酵过程中可能产生不同的游离氨基酸 (free amino acids, FAA)。

2.4.1 干酪的游离氨基酸含量

从干酪中共检测出 24 种氨基酸, QCG 组的 FAA 总含量与对照组具有显著差异 ($P < 0.05$), QCG 组的总含量最低, 其次是 XN 组, 最优是 MG 组。呈现甜味有 Thr、Ser、Gly、Ala、Pro 这 5 种 FAA, QCG 组的 Thr、Ser、Gly、Ala、Pro 均显著低于对照组 ($P < 0.05$); Gly 作为一种增味剂, 能缓和酸味和碱味, XN 组的 Gly 含量显著大于 MG 组; 3 组的 Pro 含量都高于组内其他甜味氨基酸。总体上, MG 组的呈甜味氨基酸含量大于 XN 组, XN 组显著大于 QCG 组。其中, 呈现苦味有 Val、Lle、Leu、His、Lys、Arg 这 6 种 FAA, QCG 组的 His 含量显著高于对照组, Val、Lle、Leu、Lys 含量均显著低于对照组; Arg 具有多种生理功能, MG 组的 Arg 含量显著低于 QCG 组和 XN 组, Lle、Leu 和 Lys 含量均显著高于 XN 组, 总体上, MG 组的呈苦味氨基酸含量大于 XN 组, XN 组显著大于 QCG 组。其中, 3 组的 Lys 含量都高于组内其他苦味氨基酸。呈现鲜味有 Asp、Glu 这 2 种 FAA。其中

QCG 组的 Asp 和 Glu 的含量显著低于对照组。MG 组的 Asp 和 Glu 显著高于其他对照组, Asp 与 Glu 同属酸性氨基酸。总体上, MG 组的呈鲜味氨基酸含量大于 XN 组, XN 组显著高于 QCG 组。因此可以得出, QCG 组呈味氨基酸的总含量总体上低于 XN 组和 MG 组。

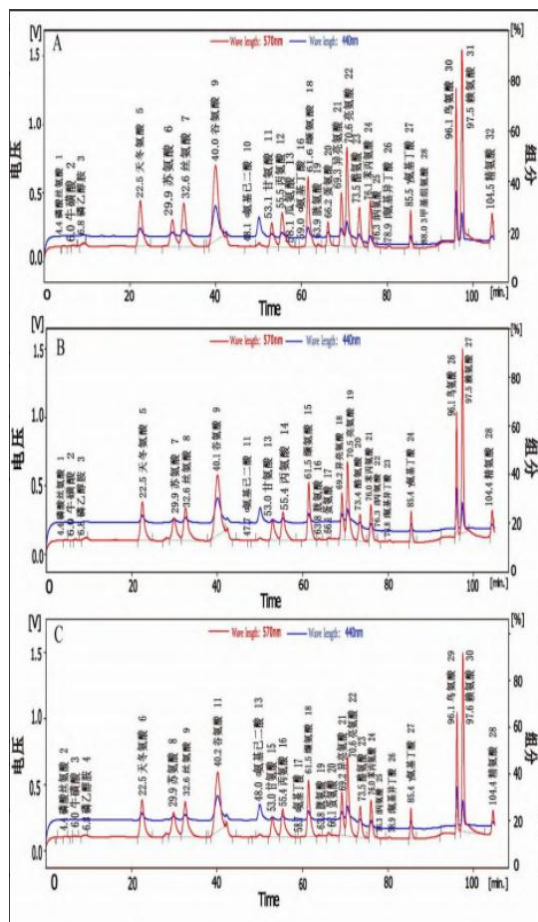
QCG 组的必需氨基酸和非必需氨基酸总含量低于 XN 组, XN 组低于 MG 组, 半必需氨基酸含量高于 MG

组, MG 组高于 XN 组。其中, QCG 组的必需氨基酸 Phe 和 His、非必需氨基酸 Aad、 β -Ala 和 BAIB、半必需氨基酸 Cys、Tyr 的含量均显著高于对照组。Lys 在 3 组的必需氨基酸的含量都高于其他必需氨基酸, Lys 具有增强胃液分泌、提高蛋白质的利用率、增强造血机能、增强抗病能力的作用: His 是婴儿必需氨基酸, 对婴儿的生长发育有促进作用; Tyr 能促进黑色素生成, 预防焦虑、调节情绪等作用。

表4 干酪中的游离氨基酸含量
Table 4 the content of free amino acids in cheese

序号	FAA	QCG 组/%	MG 组/%	XN 组/%
1	磷酸丝氨酸 (P-Ser)	0.022 4 $\pm$ 0.000 ^b	0.029 3 $\pm$ 0.000 ^a	0.016 9 $\pm$ 0.000 ^b
2	牛磺酸 (Tau)	0.003 6 $\pm$ 0.000 ^b	0.011 9 $\pm$ 0.000 ^b	0.161 6 $\pm$ 0.022 ^a
3	天冬氨酸 (Asp, 鲜味、酸味)	1.330 6 $\pm$ 0.002 ^c	1.598 3 $\pm$ 0.002 ^a	1.366 8 $\pm$ 0.001 ^b
4	苏氨酸 (Thr, 甜味) **	1.076 7 $\pm$ 0.001 ^c	1.267 4 $\pm$ 0.002 ^a	1.219 4 $\pm$ 0.001 ^b
5	丝氨酸 (Ser, 甜味) *	1.275 2 $\pm$ 0.001 ^c	1.665 3 $\pm$ 0.001 ^a	1.420 0 $\pm$ 0.001 ^b
6	谷氨酸 (Glu, 鲜味、酸味)	0.009 0 $\pm$ 0.000 ^c	6.667 9 $\pm$ 0.025 ^a	5.510 0 $\pm$ 0.002 ^b
7	α 氨基己二酸 (Aad)	5.445 9 $\pm$ 0.000 ^a	0.018 9 $\pm$ 0.001 ^b	0.004 0 $\pm$ 0.000 ^b
8	甘氨酸 (Gly, 甜味) *	0.008 6 $\pm$ 0.001 ^c	0.549 9 $\pm$ 0.001 ^b	0.642 7 $\pm$ 0.025 ^a
9	丙氨酸 (Ala, 甜味)	0.457 8 $\pm$ 0.001 ^c	0.975 0 $\pm$ 0.001 ^a	0.822 4 $\pm$ 0.000 ^b
10	缬氨酸 (Val, 苦味) **	0.797 8 $\pm$ 0.002 ^{bc}	1.791 5 $\pm$ 0.004 ^a	1.534 9 $\pm$ 0.001 ^{ab}
11	胱氨酸 (Cys) *	1.482 4 $\pm$ 0.001 ^a	0.076 2 $\pm$ 0.001 ^b	0.055 7 $\pm$ 0.000 ^c
12	甲硫氨酸 (Met) **	0.038 2 $\pm$ 0.000 ^c	0.639 1 $\pm$ 0.003 ^a	0.088 9 $\pm$ 0.002 ^b
13	异亮氨酸 (Ile, 苦味) **	0.025 0 $\pm$ 0.000 ^c	1.342 0 $\pm$ 0.002 ^a	1.155 9 $\pm$ 0.000 ^b
14	亮氨酸 (Leu, 苦味) **	1.171 0 $\pm$ 0.002 ^c	2.528 1 $\pm$ 0.002 ^a	2.174 0 $\pm$ 0.001 ^b
15	酪氨酸 (Tyr, 芳香味) *	2.026 9 $\pm$ 0.005 ^a	1.674 5 $\pm$ 0.003 ^b	1.367 1 $\pm$ 0.002 ^c
16	苯丙氨酸 (Phe) **	1.111 1 $\pm$ 0.001 ^a	0.917 4 $\pm$ 0.002 ^c	0.966 9 $\pm$ 0.020 ^b
17	β 丙氨酸 (β -Ala)	0.871 9 $\pm$ 0.010 ^a	0.400 9 $\pm$ 0.002 ^b	0.284 9 $\pm$ 0.006 ^c
18	β 氨基异丁酸 (BAIB)	0.266 0 $\pm$ 0.002 ^a	0.008 0 $\pm$ 0.000 ^b	0.006 7 $\pm$ 0.000 ^b
19	γ 氨基丁酸 (GABA)	0.009 0 $\pm$ 0.000 ^c	0.514 3 $\pm$ 0.002 ^a	0.449 3 $\pm$ 0.003 ^b
20	组氨酸 (His, 苦味) ***	0.436 0 $\pm$ 0.002 ^a	0.008 2 $\pm$ 0.000 ^b	0.006 7 $\pm$ 0.000 ^b
21	鸟氨酸 (Orn)	1.506 4 $\pm$ 0.000 ^b	1.787 8 $\pm$ 0.004 ^a	1.512 2 $\pm$ 0.020 ^b
22	赖氨酸 (Lys, 苦味) **	3.196 4 $\pm$ 0.011 ^c	3.859 8 $\pm$ 0.050 ^a	3.724 7 $\pm$ 0.017 ^b
23	精氨酸 (Arg, 苦味) *	0.507 5 $\pm$ 0.004 ^b	0.406 2 $\pm$ 0.008 ^c	0.701 8 $\pm$ 0.000 ^a
24	脯氨酸 (Pro, 甜味)	2.361 3 $\pm$ 0.003 ^c	3.094 0 $\pm$ 0.003 ^a	2.592 4 $\pm$ 0.001 ^b
	总含量	25.437 $\pm$ 0.051 ^c	31.832 $\pm$ 0.118 ^a	27.786 $\pm$ 0.128 ^b

注: *表示半必需氨基酸; **表示必需氨基酸; ***表示婴儿必需氨基酸; 同一行上标相同字母者差异不显著 ($P>0.05$), 同一行上标不同字母者差异显著 ($P<0.05$)。



A-QCG 组; B-MG 组; C-XN 组

图 4 干酪游离氨基酸测定谱图

Fig.4 Determination of free amino acids in cheese

2.4.2 干酪中游离氨基酸的热图分析

从图 5 中可以看出, Phe、Aad、Cys、BAIB、His、Tyr、 β -Ala 这 7 组在 QCG 组中丰度最高; P-Ser、Ser、Pro、Orn、Asp、Met、Ala、Thr、Val、Leu、Glu、Lys 这 12 组在木瓜凝乳酶中丰度最高, Arg、Tau、Gly 这 3 组在 XN 组中丰度最高, Lle、GABA 在 QCG 组中丰度较差, 在 MG 组和 XN 组中丰度较高。

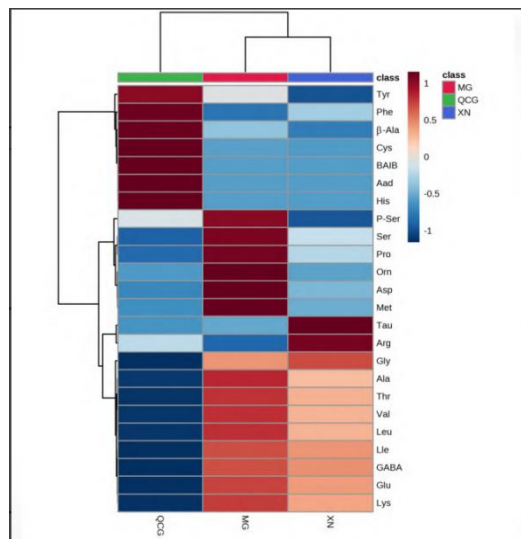


图 5 干酪中游离氨基酸的热图

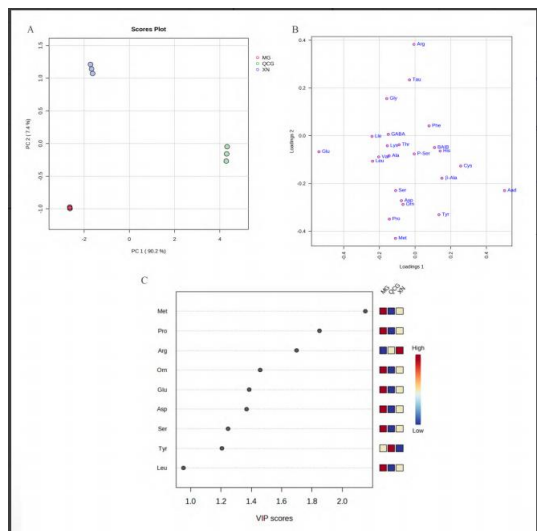
Fig.5 Heatmap of free amino acids in cheese

2.4.3 干酪中游离氨基酸的 PCA 和 PLS-DA 分析

图 6-APC1 贡献率为 90.2 %, PC2 贡献率为 7.4 %, PC1 和 PC2 之和为 97.6 %, 基本可以反映 3 种干酪 FAA 的大部分信息。从图中可以看出, QCG 组样品分布在横坐标的正半轴。3 组组间差异显著, MG 组内差异不显著, XN 组内差异较小, QCG 组内差异较大。PC1 成分中 QCG 组分值最高, 显著高于 MG 组和 XN 组。PC2 中 XN 组分值最高, 其次是 QCG 组, 最后是 MG 组。

图 6-B 中, XN 组的主要贡献物质是 Glu, QCG 组的主要贡献物质是 Aad、Cys、 β -Ala、Tyr、His、BAIB, MG 组主要的贡献物质是 Glu、Met、PrOrn、Asp、Ser、Leu、Val、Ala、Lys、Thr。

通过 PLS-DA 筛选出 8 个重要风味物质, 分别为: Tyr、Ser、Asp、Glu、Orn、Arg、Pro、Met, Ser、Pro、Orn 的滋味特征为甜味, ASP、Glu 滋味特征为鲜味, Arg 滋味特征为苦味, Tyr 滋味特征为芳香味。



A--参看得分图; B-载荷图; C-VIP 评分

图 6 干酪中游离氨基酸主成分分析

Fig.6 Analysis of free amino acids in cheese

2.5 干酪中游离脂肪酸与游离氨基酸的交互性热图分析

将图 3 和图 6 中筛选出的 14 个重要风味物质作交互性热图。分析游离脂肪酸和游离氨基酸对干酪风味物质的影响。结果如图 7 所示, 6 种游离脂肪酸和 8 种游离氨基酸的组内交互性好。顺 9 十八碳三烯酸、己酸、亚油酸这 3 种 FFA 与 Glu、Ser、Pro、Orn、Asp、Met 这 6 种 FAA 交互性好。Tyr、Arg 与其他物质交互效果都较差。

其中, 亚油酸、己酸、顺 9 十八碳

三烯酸 3 种 FFA 可能通过氨基酸代谢途径与 Glu、Ser、Pro、Orn、Asp、Met 6 种 FAA 存在协同作用。肖甜甜等人对贵州米酸汤进行研究, 发现甘油可通过原料中的脂肪在各种酶的作用下降解产生, 然后在氨基酸代谢途径中通过羟基丙酮酸进一步合成。Arg、Gly、Thr 可在多种生物合成途径中生成, 然后在酶的作用下进入柠檬酸盐循环。一些脂肪族也是氨基酸代谢过程中的产物或中间物质。而参与风味物质形成的氨基酸有 Val、Leu、Ile、Ala、Phe 等, 其中 Val、Leu、Ile、Ala、Phe 这 5 种 FAA 在干酪中均有检出, 这说明亚油酸、己酸、顺 9 十八碳三烯酸这 3 种 FFA 与 Glu、Ser、Pro、Orn、Asp、Met 这 6 种 FAA 之间可能存在协同作用, 对干酪的风味有影响。

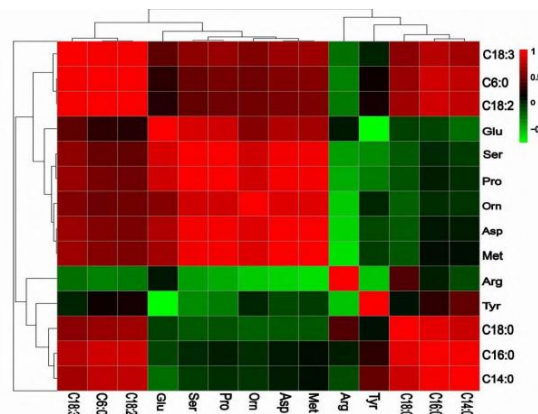


图 7 游离脂肪酸与游离氨基酸 VIP 组分的交互性热图分析

Fig.7 Interactive heat map analysis of VIP components in free fatty acids and free amino acids



3 结论

实验利用青刺果凝乳酶加工发酵型干酪, 所得干酪色泽乳白; 与木瓜凝乳酶、小牛凝乳酶加工干酪相比, 其在凝聚性、黏性、咀嚼性、恢复性等质构特性得到较好改善; 从青刺果凝乳酶加工干酪共检测出 23 种游离脂肪酸和 24 种游离氨基酸, 通

过 PLS-DA 分析从 3 种凝乳酶加工干酪中共筛选出 14 种重要风味物质, 其中有 3 种游离脂肪酸和 6 种游离氨基酸之间交互效果较好, 可能存在协同效应, 对干酪风味产生影响。研究为青刺果凝乳酶在干酪加工中的应用提供重要依据。

