

“藜麦加工、营养与品质调控” 特约专栏文章之三

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2021.04.003

曹洪伟, 乐翔云, 王玉琪, 等. 微波钝化藜麦脂肪酶及改善藜麦风味研究[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(4): 20-29.

CAO H W, LE X Y, WANG Y Q, et al. Research on microwave inactivation of lipase from quinoa and improvement of flavor[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(4): 20-29.

微波钝化藜麦脂肪酶及改善 藜麦风味研究

曹洪伟¹, 乐翔云¹, 王玉琪¹, 孙如琏¹, 张颖¹, 易翠平², 管 骁¹✉

(1. 上海理工大学医疗器械与食品学院, 上海 200093;
2. 长沙理工大学 化工与食品工程学院, 湖南长沙 410114)

摘 要: 采用不同微波条件对藜麦进行处理, 并对比微波和传统传导加热模式(水浴和烘烤)对藜麦中脂肪酶和风味物质的影响。结果表明: 随着微波功率的提高和处理时间的延长, 脂肪酶的活性均出现明显下降的趋势, 在功率达到 600 W、处理时间 4 min 后脂肪酶活性趋于稳定; 通过对藜麦中风味物质含量的分析, 发现微波处理显著降低了甲基酮、1-辛烯-3-醇、反式-2-壬烯醛的含量; 而且随着储藏时间的延长, 微波抑制了藜麦中油脂氧化, 藜麦中过氧化值和酸价均降低。与传统的加热模式相比, 藜麦乳微波处理能够明显降低藜麦中脂肪酶的活性, 在改善其风味的同时提高了感官特性。

关键词: 微波; 藜麦; 脂肪酶活性; 风味; 感官特性

中图分类号: TS201.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2021)04-0020-10

网络首发时间: 2021-07-02 15:52:07

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20210702.1119.027.html>

Research on Microwave Inactivation of Lipase from Quinoa and Improvement of Flavor

CAO Hong-wei¹, LE Xiang-yun¹, WANG Yu-qi¹, SUN Ru-lian¹, ZHANG Ying¹,
YI Cui-ping², GUAN Xiao¹✉

(1. School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. School of Chemistry and Food Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114, China)

Abstract: By evaluating the results of treating quinoa with different microwave conditions, this paper compares the effects of microwave heating and traditional conduction heating (water bath and baking) on lipase and flavor components of quinoa. Experiments results show that with the increase of microwave power and the extension of treatment time, the activity of lipase decreased significantly. After heating at 600 W

收稿日期: 2021-04-22

基金项目: 上海曙光计划项目(19SG45); 上海市科委地方高校能力建设项目(20060502100)

Supported by: The “Down” Program of Shanghai Education Commission (No.19SG45); Capacity building project of local universities of Shanghai Science and Technology Commission (No.20060502100)

作者简介: 曹洪伟, 男, 1990 年出生, 博士, 讲师, 研究方向为食品蛋白功能特性研究。E-mail: chwei@usst.edu.cn.

通讯作者: 管 骁, 男, 1979 年出生, 博士, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为谷物加工与营养。E-mail: gnxo@163.com.

power for 4 min, the lipase activity tended to be stable. Through analyzing flavor components in quinoa, we found microwave treatment dramatically reduced the levels of Methyl Ketone, 1-octen-3-ol and trans-2-Nonenal. Moreover, with the extension of storage time, the oxidation of oil in quinoa was inhibited by microwave, with the peroxide value and acid value of quinoa decreased. Compared with the traditional heating methods, microwave heating can significantly reduce the activity of lipase in quinoa, and improve the flavor and organoleptic attribute of quinoa milk.

Key words: microwave; quinoa; lipase activity; flavor; organoleptic attribute

藜麦 (*Chenopodium quinoa Willd*) 原产于南美洲安第斯山区, 距今已有五千多年的种植历史。藜麦中蛋白质含量高, 不含麸质, 富含人体所有的必需氨基酸; 藜麦含有的脂肪多为多不饱和脂肪, 且膳食纤维含量较高, 属于低 GI 食物^[1-2]。乳糖不耐受患者、糖尿病人、高血脂等特殊人群都可食用藜麦并受益^[3]。此外, 藜麦富含的维生素、多酚、黄酮、皂苷、植物甾醇等活性成分, 具有增强机体免疫、抗氧化、抗炎、降血糖、降血脂等功效^[4]。藜麦因其丰富的营养特性也被称为“植物黄金”、“未来食品”, 是 21 世纪应对粮食安全的重要谷物之一^[5]。藜麦中的脂肪含量约为 6.0%~9.5%左右, 高于小麦、玉米、大麦等常见谷物, 仅低于大豆^[6]。藜麦在储藏和加工过程中容易发生脂肪水解和不饱和脂肪酸氧化作用, 产生酮类、酚类和醛类物质, 使藜麦品质劣变。脂肪中的游离脂肪酸不断增多, 致使蒸煮品质下降, 再进一步氧化, 将会产生难闻的戊醛、己醛等挥发性羰基化合物, 从而影响藜麦制品的品质和风味。安红周^[7]等研究发现, 随着储藏时间延长, 谷物中的脂肪酸值含量不断增加, 储藏条件越恶劣, 谷物脂肪酸值增加速度越快。此外, 藜麦中富含多种酶, 藜麦的生化代谢与多种酶的活性息息相关。有研究表明, 在谷物储藏期间, 脂肪酶的活性在储藏期间呈单调上升的趋势^[8], 脂肪酶促使油脂水解产生游离饱和脂肪酸, 这些脂肪酸在微生物分解酶的作用下氧化, 严重影响藜麦的风味和品质特性。

为了藜麦制品的品质可控, 迫切需要找到一种能抑制藜麦脂肪酶活性从而延长藜麦储藏保鲜期的方法。传统上钝化酶的最有效最彻底的方法是加热处理, 但是加热处理钝化酶时往往容易引起营养成分的丧失以及风味的改变。微波技术因

其快速、高效、安全和环保等优点, 作为新能源技术被广泛应用于干燥、加热、解冻、消毒与杀菌等领域。使用微波技术处理果蔬, 使成熟果蔬的果胶酶、多酚氧化酶、氧化氢酶等酶失活, 从而抑制酶促反应的发生^[9-10]。张习军^[11]研究了微波处理对稻谷品质的影响, 得出微波处理能够提高稻谷的加工和储藏性能, 改善大米食味品质的结论。微波加热的本质是材料的内部加热。在加热过程中, 不需要进行热传递并且内部和外部的物理过程同时被加热, 因此可以立即达到目标温度。微波抑制酶活性有两个主要原因: 一是微波在样品中产生局部热点, 微波的快速升温使酶变性失活; 另一种是某些极性基团的酶分子在微波场下产生响应。交变电场的快速变化引起酶分子结构的机械损伤, 酶活性因结构破坏而降低。鉴于此, 微波技术可能作为控制提高藜麦贮藏稳定性颇有潜力的方法。

本研究主要探究微波对藜麦中脂肪酶的钝化作用, 重点研究不同微波处理条件对酶活性的影响, 从过氧化值、酸价等方面评价脂肪酸氧化性的变化, 并分析藜麦风味的主要物质。并以藜麦乳为研究对象, 通过感官评定, 考察微波加热对藜麦风味的影响, 以期为食品工业中高品质藜麦制品的加工提供新思路。

1 材料与方法

1.1 实验材料

藜麦: 永昌县养生三宝食品有限责任公司; 纯油脂、牛血清蛋白: 上海蓝季科技发展有限公司; 大豆油: 丰益贸易私人有限公司(江苏泰州); 氢氧化钾、氢氧化钠、酚酞指示剂、乙醇、乙醚、无水乙醇、考马斯亮蓝 G-250、LANS 溶液: 国药集团化学试剂有限公司; Tris-Gly-8Murea 缓冲液: (Solarbio) 生物技术有限公司。

1.2 实验仪器与设备

磁力搅拌器、高速搅拌机：莱普特科学仪器有限公司；电子分析天平：奥豪斯国际贸易有限公司；粗脂肪测定仪器：上海新嘉电子有限公司；定氮仪：浙江托普仪器有限公司；电热恒温水浴锅：北京科伟水兴仪器有限公司；冰箱：海尔特种电器有限公司；植物粉碎机：永康市久品工贸有限公司；微波仪：格兰仕微波炉电器有限公司；分光光度计：日本日立公司。

1.3 实验方法

1.3.1 藜麦预处理

将藜麦用 2 600 r/min 的速度经植物粉碎机粉碎 1 min，重复 3 次，过 100 目筛，收集筛下物于密封袋中，用锡纸将密封袋包裹严实，置于 4 °C 冰箱中避光保存备用。

1.3.2 藜麦基本成分测定

水分含量的测定：参照 GB5009.3—2016^[12] 直接干燥法；

粗蛋白含量的测定：参照 GB5009.5—2016^[13] 凯氏定氮法；

粗脂肪含量的测定：参照 GB5009.6—2016^[14] 索氏提取法；

粗淀粉含量的测定：参照 GB 5009.9—2016^[15] 酸水解法。

1.3.3 藜麦中脂肪酸含量的测定

参考严俊安^[16] 的方法，对藜麦中的脂肪酸含量进行测量。先将样品甲酯化。称取 0.02 g 藜麦粉样品，于 10 mL 玻璃螺口带塞离心管中，加入 100 μL 浓度为 10 mg/mL 十一碳酸甘油三酯内标，2.5 mL 0.5 mol/L NaOH-MeOH 溶液，振荡混匀。在 45 °C 水浴中皂化 20 min，加入 2 mL 14% BF₃-甲醇溶液，混匀，继续水浴 2 min，取出迅速冷却，加入 2 mL 正己烷，振荡 1 min，加入 2 mL 饱和氯化钠溶液，上层清液经水洗和无水硫酸钠脱水后，于 GC-MS 进样分析。

色谱条件：色谱柱 HP-88 (100 m × 0.25 mm × 0.20 μm) 毛细管柱；载气为高纯氮；柱流量 1.5 mL/min；分流比 50:1；进样口温度 250 °C；升温程序：初始温度 60 °C，保持 1 min，以 15 °C/min 升温至 188 °C，保持 25 min，以 10 °C/min 升温至 230 °C，保持 10 min。

质谱条件：EI 源电子能量 70 eV；溶剂延迟 8 min；电子倍增电压 1 650 V；离子源温度 230 °C；四级杆温度 150 °C，传输线温度 230 °C，扫描模式 SIM，扫描离子 m/z：43、55、67、74、79、83、87、91、95。

1.3.4 加热方式及处理条件

参照顾军强^[17] 的方法并修改，微波处理功率分别为：300、600、800、1 000 W；处理时间：2、4、6、8 min。不同处理条件水浴为 (90 °C，6 min)，烘烤条件为 (90 °C，6 min)，微波处理条件为 (600 W，4 min)，将 10 g 藜麦粉置于石英烧杯中，测温采用光纤探针和红外探针相结合的方式进行处理。样品处理完成后保存进行后续测试。

1.3.5 藜麦中脂肪酶活性的测定

参照王静^[18]、Schmidtdannert^[19] 等的分光光度法，对藜麦脂肪酶活力进行测定。标准曲线的绘制：配制一系列不同浓度的油酸—甲苯溶液，分别取 5 mL 于 10 mL 离心管中，加入 1 mL 脂肪酸显色剂 (5% 醋酸铜溶液，用吡啶调节至 pH=6.2)，磁力搅拌 3 min，离心后取上层有机相在 714 nm 处测定吸光度。

脂肪酶活力的测定：取 (0.500 ± 0.001) g 样品加入 0.066 7 mol/L 的磷酸盐缓冲液 5 mL，进行冰浴匀浆；12 000 g、4 °C 下离心 10 min，取上清液置于冰上备用。取 0.5 mL 样品上清液，依次加入 0.066 7 mol/L 的磷酸盐缓冲液和 1 mL 橄榄油，37 °C 振荡反应 10 min 后加入 8 mL 的甲苯中止反应。在 37 °C 振荡反应 10 min 后，在 25 °C、8 000 g，离心 10 min。取上清液 4 mL，加入显色剂 1 mL，混匀后于 710 nm 处测定样品吸光度，同时做空白对照组。

酶活定义及计算公式：脂肪酶酶活力定义为在一定条件下，每分钟释放出 1 μmol 脂肪酸的酶量为 1 个酶活力单位 (U)。利用公式 (1) 计算酶活：

$$X = \frac{cV}{tV'} \quad (1)$$

其中，X 为脂肪酶活力 (U/mL)；c 为脂肪酸浓度 (μmol/mL)；V 为脂肪酸溶液的体积 (mL)；V' 为酶液的用量 (mL)；t 为作用时间 (min)。

1.3.6 藜麦中主要风味物质的测定

根据张慧玲^[20] 的方法并修改，取 5.0 g 样品

置于 20 mL 顶空瓶中, 将老化后的 50/30 μm CAR/PDMS/DVB 萃取头插入样品瓶顶空部分, 于 60 $^{\circ}\text{C}$ 条件下吸附 30 min, 吸附后的萃取头取出, 插入气相色谱进样口, 于 250 $^{\circ}\text{C}$ 解吸 3 min, 同时启动仪器采集数据。

气相色谱条件: 载气: 氦气; 柱流速: 1 mL/min; 进样口温度: 250 $^{\circ}\text{C}$; 萃取头在进样口解析 5 min, 脉冲无分流进样; 起始温度 40 $^{\circ}\text{C}$ 保持 5 min, 以 8 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 70 $^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min, 再以 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 170 $^{\circ}\text{C}$, 保留 2 min, 再以 8 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 210 $^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min。

质谱条件: 离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$; 传输线温度 250 $^{\circ}\text{C}$; 采用全扫描 (Scan) 模式采集信号, 扫描范围 35~500 m/z。

1.3.7 藜麦加速储藏实验

将对照组藜麦和经过微波处理的藜麦用聚乙烯薄膜包装后置于 38 $^{\circ}\text{C}$ 恒温箱中, 每 10 d 测定一次酸价 (AV) 和过氧化值 (POV), 连续观察 30 d。

酸价的测定参照 GB5009.229—2016^[21], 过氧化值的测定参照 GB/T5009.227—2016^[22]。

1.3.8 藜麦乳感官评定

精确称量不同处理方式的藜麦粉 10.0 g, 与 0.5 g 纤维素酶粉反应 5 min 后陆续加入 0.5 g 乳糖化酶粉反应 60 min, 用 250 mL 蒸馏水制成混合溶液, 其中酶降解溶液需要调至 pH5.0, 并继续在 50 $^{\circ}\text{C}$ 下酶促分解 70 min, 然后高温灭酶 10 min, 随后冷却至室温, 离心过滤后制成藜麦乳。感官评分参考韩利英等^[23]的方法。发酵型燕麦乳感官评分: 组成 10 人评价小组, 对发酵型燕麦乳饮料的色泽、口感、香味、组织状态进行感官评定, 其中色泽占 15 分, 口感占 30 分, 风味占 35 分, 组织状态占 20 分, 满分 100 分^[24]。感官评分如表 1。

1.4 数据分析

结果采用 Origin9.0 软件进行处理分析, 未知化合物采用 NIST05 谱库检索和人工图谱解析, 用峰面积归一化法进行相对定量。

2 结果与分析

2.1 藜麦的基本成分及脂肪酶活性的测定

不同品种的藜麦成分和组成不同, 目前市场上在售的藜麦主要分为红藜、白藜和黑藜, 具体成分组成如表 2。

表 1 藜麦乳感官评定标准分

Table 1 Sensory evaluation standard score of quinoa milk 分

	评分标准	分数
色泽 (15)	乳黄色, 色泽均匀	13~15
	颜色不明显, 色泽均匀	10~13
	色泽局部不均匀	< 10
口感 (30)	酸甜适宜、口感细腻纯正	25~30
	酸味稍重或不足, 口感较细腻	20~25
	无酸味、口感粗糙	< 20
风味 (35)	具有藜麦香气, 无异味	30~35
	藜麦风味稍淡, 无异味	25~30
	无藜麦风味, 有异味	< 25
组织形态 (20)	均匀稳定, 黏度适中, 无分层和沉淀	17~20
	黏度不足, 有少量脂肪上浮或沉淀, 不均匀	15~17
	黏度较差, 有明显分层和沉淀	< 15

表 2 不同藜麦基本成分的测定

Table 2 Determination of basic components in different quinoa varieties %

组分含量	红藜	白藜	黑藜
水分	12.90 \pm 0.12	10.34 \pm 0.14	11.32 \pm 0.09
脂肪	6.55 \pm 0.05	6.88 \pm 0.04	6.97 \pm 0.05
蛋白质	18.69 \pm 0.14	17.35 \pm 0.11	20.56 \pm 0.12

从表 2 中可以看出, 藜麦的蛋白质含量高达 17% 以上, 这也是藜麦适合作为高蛋白食品的原 料的原因, 其中黑藜的蛋白质含量最高, 这和藜麦的品种和生长环境直接相关。从脂肪含量上来看, 三种藜麦的脂肪含量也很高, 均大于 6%, 而且不同品种藜麦的脂肪含量相差不大。这一结果也与 Nowak^[25]与 KoAli^[26]等测定的结果相近, 显示了藜麦的营养潜力。高脂肪含量也代表着在储存和加工过程中容易氧化产生哈败从而产生不期望的风味, 影响加工制品的品质。

脂肪的氧化与脂肪酶的活性有关, 脂肪通过脂肪酶分解成游离的脂肪酸, 这些游离的脂肪酸在加工过程中, 尤其是热处理过程中容易被氧化, 生成不良风味物质, 从而对食品风味产生消极的影响, 不同品种藜麦的脂肪酶活性如表 3 所示。

表 3 不同品种藜麦脂肪酶活性的测定

Table 3 Determination of lipase activity in different varieties of quinoa mg/g

样品种类	红藜	白藜	黑藜
脂肪酶活性	432.42 \pm 4.56	721.23 \pm 2.45	621.36 \pm 3.21

由表 3 中可以看出, 不同品种的藜麦脂肪酶

活性大不相同，其中红藜的脂肪酶活性最低 (432.42 ± 4.56) mg/g，白藜的脂肪酶活性最高，为 (721.23 ± 2.45) mg/g。白藜价格低廉、产量大，广泛的应用于藜麦产业中，而且上述实验结果显示，三个品种的藜麦，白藜的脂肪酶活性最高，所以本研究中后续的实验选用白藜作为实验对象，考察微波处理对其脂肪酶活性和藜麦乳风味的影响。

2.2 藜麦中脂肪酸含量的测定

藜麦营养丰富，有很高的营养价值，尤其是其丰富的脂肪酸含量，经过测定藜麦中的不同类型的脂肪酸含量如表 4 所示：

表 4 藜麦中脂肪酸含量

Table 4 Fatty acid content of quinoa %

藜麦中脂肪酸组成	脂肪酸相对含量
肉蔻酸 (C14:0)	0.10 ± 0.02
棕榈酸 (C16:0)	8.22 ± 0.12
硬脂酸	0.82 ± 0.04
反十八碳烯酸/反油酸	0.02 ± 0.02
油酸	25.93 ± 0.85
亚油酸	49.30 ± 0.42
反亚油酸	0.06 ± 0.00
亚麻酸甲酯/ γ -亚麻酸	0.02 ± 0.00
花生酸	0.47 ± 0.01
α -亚麻酸	9.14 ± 0.06
二十碳烯酸	1.37 ± 0.03
二十一烷酸	0.09 ± 0.00
二十碳二烯酸	0.19 ± 0.01
山俞酸/二十二碳烷酸	0.55 ± 0.01
芥酸	1.24 ± 0.02
二十三酸	2.05 ± 0.02
二十四酸	0.18 ± 0.00

从表 4 中可以看出，藜麦中的亚油酸、油酸以及亚麻酸的相对百分含量分别为 $49.30\% \pm 0.42\%$ ， $25.93\% \pm 0.85\%$ 和 $9.14\% \pm 0.06\%$ ，居所有脂肪酸含量的前三位。含不饱和脂肪酸的油脂暴露在空气中，经过光、热和脂肪酶的作用发生氧化，通过自由基填充脂肪中的双键结构，从而形成过氧化物，过氧化物极不稳定，会继续氧化产生醛类、酮类及有机酸等，使藜麦具有难闻的气味和不愉快的味道。且油酸、亚油酸和亚麻酸为单不饱和脂肪酸与多不饱和脂肪酸，极易发生氧化产生不良的风味，这都为脂肪的氧化提供了必备的条件。

2.3 微波功率对藜麦中脂肪酶活性的影响

不同微波功率处理对藜麦脂肪酶活性的影响如图 1 所示，不同微波处理时间相同（均为 4 min）

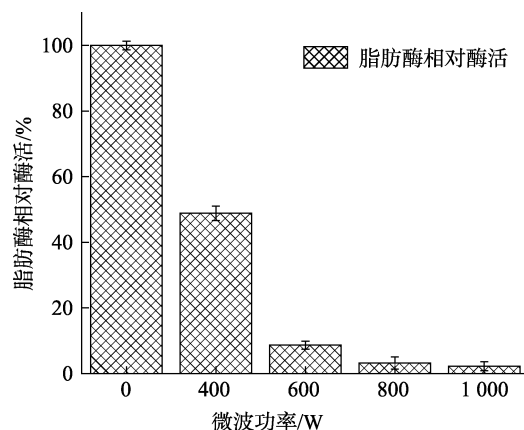


图 1 微波功率对藜麦中脂肪酶活性的影响

Fig.1 Effect of microwave power on lipase activity in quinoa

时，随着微波功率的增加，脂肪酶的活性出现不同程度的降低。和对照组相比，微波功率为 400 W 时，脂肪酶活性下降到约为对照组的一半，因为此时的微波功率较低，处理条件较为温和，藜麦粉的温度尚不足以达到使脂肪酶活性完全失活的温度。当微波功率增加到 600 W 时，脂肪酶的活性出现急剧下降，微波功率进一步增加到 800 W 和 1 000 W 时，藜麦中的脂肪酶活性继续下降到 3.24%和 2.24%。实验结果说明高功率的微波处理会使脂肪酶的活性降低，而且在电磁场的作用下脂肪氧化酶已经出现了失活^[27]。虽然 800 W 和 1 000 W 的高功率微波加热可以使脂肪酶几乎完全失活，但同时藜麦粉也会出现干焦的现象，会影响藜麦的加工和营养特性，缺乏应用性。因此综合上述结果，处理时间不变时，选取微波钝化脂肪酶的功率为 600 W 较为适宜。

2.4 微波处理时间对藜麦中脂肪酶活性的影响

根据 2.3 确定的微波功率，设置不同微波处理时间，考察微波处理对藜麦中脂肪酶活性的影响。微波处理时间对脂肪酶活性的影响如图 2 所示，功率恒定时，随着处理时间的延长，脂肪酶活性的出现不同程度的下降。和对照组相比，微波处理 2 min 时，脂肪酶的相对酶活性下降至 56.86%，处理时间进一步延长，脂肪酶的活性迅速下降。微波处理时间为 4 min 时，样品的温度约为 90 °C 左右，脂肪酶活性下降到 8.65%，时间进一步增加到 6 min 和 8 min，脂肪酶活性下降至更低，但活性变化已经不明显，趋于稳定，但此时样品温度较高，影响了藜麦的营养与风味，不宜加工。综合实验结果及实际情况，最终确定微波钝化藜麦脂肪酶的

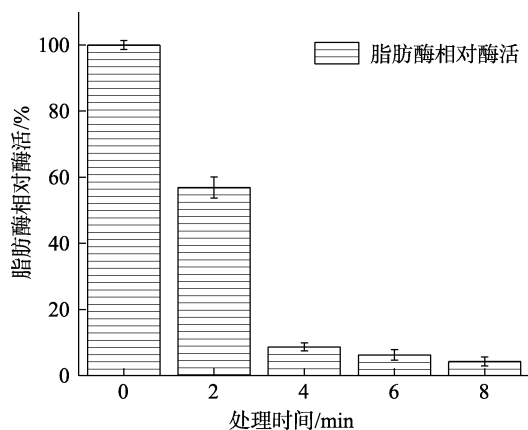


图 2 微波处理时间对藜麦中脂肪酶活性的影响
Fig.2 Effect of microwave treatment time on lipase activity in quinoa

处理的最佳时间为 4 min。

2.5 加热方式对藜麦中脂肪酶活性的影响

不同加热方式因其加热原理不同，能量传递的过程也不同，最终影响食品的加热效果。通过分析 2.3 和 2.4 的研究结果，最终选定微波处理的功率为 600 W 处理时间为 4 min。不同加热方式对藜麦中脂肪酶活性的影响如图 3 所示，由于各

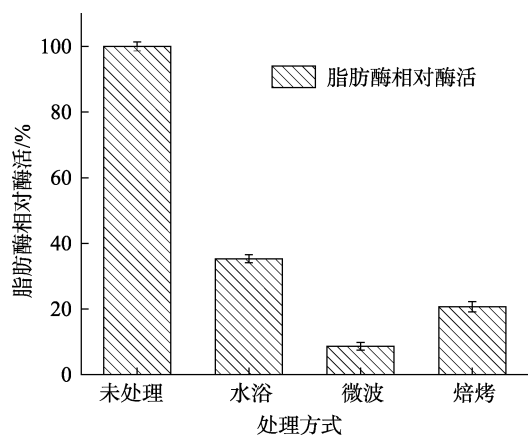


图 3 不同处理方式对藜麦脂肪酶活性的影响
Fig.3 Effect of different treatment methods on quinoa lipase activity

模式下的最终温度几乎相同，实验结果可以认为是与未处理的样品相比，不同加热方式对脂肪酶活性的影响。从图 3 可以看出，经过热处理后脂肪酶的活性明显下降，其中微波处理后脂肪酶的活性最低。这可能是因为水浴和焙烤加热方式均属于传导的加热方式，而微波通过电磁波的震荡可以直接破坏藜麦脂肪酶的结构，使脂肪酶变性失活，从而降低了脂肪酶的活性，这是微波加热的热效应和非热效应共同作用的结果，这与 Wang keke^[28]等对微波处理可以使小麦胚芽脂肪酶活性降低结果相似，微波可以作为一种有效的抑制小麦酸败和延长货架期的方法。

2.6 加热方式对藜麦中风味物质的影响

从 2.2 中脂肪酸的测定的结果中可以看出，藜麦中两种最丰富的的不饱和脂肪酸分别为油酸和亚油酸，藜麦中的高比例的不饱和脂肪酸可以氧化产生许多不饱和的挥发性醛，而碳数低的饱和醛会产生不期望的刺激性气味，中等碳链的醛有脂肪的油腻、苦的气味。脂质自动氧化生成的脂肪酮有助于油和食品的香味的形成，但是不饱和脂肪酸自动氧化生成的脂肪酮会进一步产生蛤蚧的那个不良气味，此外脂质氧化的生成的醇类物质也会产生难闻的气味，例如 1-辛烯-3-醇有发霉的气味。通过对脂肪氧化产生不良风味的典型风味物质检测的结果显示（见表 5），经过微波处理的样品，不良典型风味物质的含量有所降低，并且显著降低了甲基酮、1-辛烯-3-醇、反式-2-壬烯醛等风味物质的含量。这可能是因为微波促使脂肪酶的活性降低，游离脂肪酸的含量也因此降低，因此氧化程度减弱；另一方面可能是由于微波加热可在短时内就达到加热效果，氧化反应的

表 5 不同处理方式对藜麦主要风味物质的影响

Table 5 Effect of different treatment methods on main flavor substances of quinoa

风味物质	藜麦原样	水浴处理	微波处理	焙烤处理	%
己醛	1.32 ± 0.12	1.30 ± 0.05	0.66 ± 0.03	0.84 ± 0.02	
苯甲醛	0.73 ± 0.03	0.70 ± 0.01	0.40 ± 0.02	0.56 ± 0.02	
反式-2-壬烯醛	0.60 ± 0.03	0.55 ± 0.02	0.32 ± 0.01	0.44 ± 0.01	
反式-2-己烯醛	0.39 ± 0.01	0.35 ± 0.02	0.22 ± 0.01	0.11 ± 0.01	
反反-2,4-癸二烯醛	0.24 ± 0.02	0.18 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.54 ± 0.01	
1-辛烯-3-醇	0.32 ± 0.03	0.30 ± 0.03	0.22 ± 0.01	0.28 ± 0.02	
1-己醇	0.35 ± 0.03	0.34 ± 0.02	0.12 ± 0.01	0.24 ± 0.01	
1-戊醇	0.46 ± 0.02	0.44 ± 0.02	0.23 ± 0.01	0.35 ± 0.02	
甲基酮	0.22 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.16 ± 0.01	

进程被大幅度缩短，不良风味物质的产生量也相应降低。

2.7 微波功率对藜麦过氧化值的影响

由图 4 可以看出，随着微波储藏时间的延长，藜麦过氧化值总体有升高的趋势；当加热时间一定时，微波功率越大，其藜麦过氧化值增加的幅度越小。这主要是因为微波加热抑制了脂肪酶的活性，阻止了酶促反应的进行，油脂氧化的中间产物较少，因此在后续贮藏过程中过氧化物值增长的较慢。贮藏刚开始时，高功率的微波处理过氧化值比低功率处理过的过氧化值要高，这可能是由于高功率时微波加热使温度升高引起油脂的氧化，发生脂肪氧化反应，促进油脂的自动氧化生成过氧化物中间产物，进一步使得过氧化值升高。而后续在贮藏过程中，随着时间的延长，高功率处理的藜麦过氧化值增长幅度缓慢，是因为较强的微波处理条件下，脂肪酶的活性非常低，过氧化物中间产物生成量少，过氧化值相应较低。

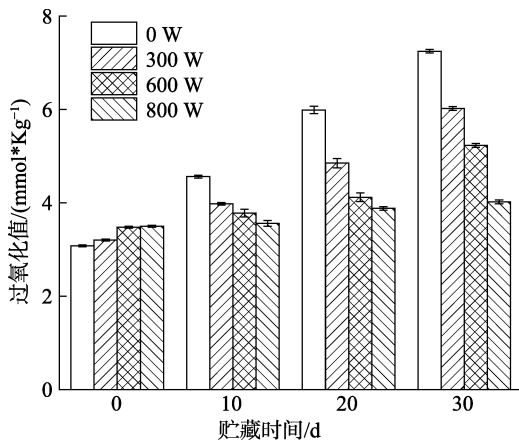


图 4 微波功率对藜麦过氧化值的影响

Fig.4 Effect of microwave power on peroxide value of quinoa

2.8 微波处理不同时间对藜麦过氧化值的影响

和图 5 的趋势相同，随着贮藏时间的延长，藜麦过氧化物值有不同增加。这是因为微波加热会触发脂肪氧化反应，迅速升温而加速油脂的自动氧化，使脂质过氧化值增加。微波处理后储藏 30 d 的藜麦发现，油脂的过氧化值显示出显著的变化。这是由于随着存储时间的增加，除了脂肪氧化生成过氧化物之外，过氧化物还会进一步分解成二级氧化产物如醛、酮、醇、烃等具有刺激性气味物质，从而造成过氧化物量的显著变化。

微波处理不同时间后，随着处理时间的延长，过氧化物值增长幅度逐渐减缓。微波处理 2 min 后，藜麦过氧化值和未处理差别不是很大，这主要是因为短时间的微波处理对脂肪酶活性的抑制性较小。处理时间超过 4 min 后，随着贮藏时间的延长，过氧化值增长缓慢，说明微波交变地磁场可能破坏了藜麦中脂肪酶的活性。微波处理时间进一步延长，过氧化值的增加幅度趋于平稳，这可能是油脂不仅仅发生氧化反应生成过氧化物，还有一些过氧化物产生了分解现象，使得过氧化值发生曲折变化，这一现象表明过氧化物只是油脂氧化过程的中间产物，过氧化物在形成之后可能会慢慢分解。

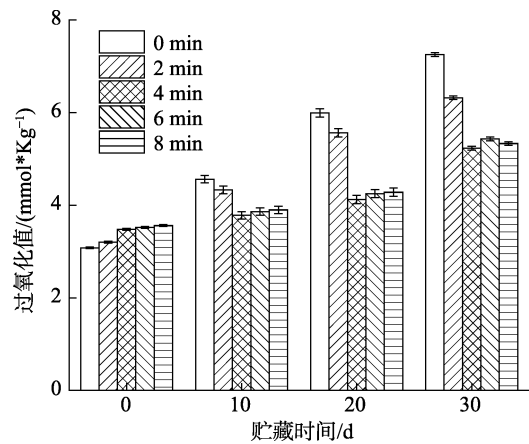


图 5 不同加热时间对藜麦过氧化值的影响

Fig.5 Effect of different heating time on peroxidation value of quinoa

2.9 微波功率对藜麦酸价的影响

随着贮藏时间的增加，藜麦酸值逐渐增加，功率越高，藜麦的酸值上升的越快，见图 6。这是因为油脂中含有极性脂肪酸分子，可以吸收微波能量并产生一定程度的热效应，从而导致油温升高和酸值升高。功率越大，微波产生的热量越高，导致反应越快。微波不仅可以增强链增长，而且可以促进过氧化物的分解和破坏，从而增加自由基和游离脂肪酸的量，因此藜麦在高功率微波加工时的酸价高于低功率时的酸价。

2.10 微波处理不同时间对藜麦酸价的影响

在相同的微波功率下，随着处理时间的增加，藜麦在不同贮藏时间内的酸值均呈现出明显的上升趋势，见图 7。这表明随着处理时间的增加，

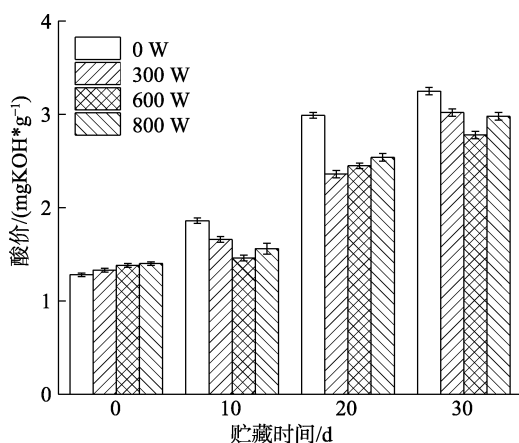


图 6 微波不同功率对藜麦酸价的影响

Fig.6 Effect of microwave power on acid value of quinoa

酶的破坏作用更加明显。贮藏 30 d 后, 藜麦的酸价明显高于处理 10 d 和 20 d 组, 且其酸价随处理时间的增加而增长缓慢。根据处理 10、20、30 d 贮藏后的藜麦脂肪酸价可以看出, 当处理时间为 4 min 后, 酸价变化不大, 这主要是因为长时间的微波处理抑制了脂肪酶的活性。因此, 综合考虑了能耗和效果, 600 W 条件下, 微波处理时间为 4 min 时抑制脂肪酶的效果更好。

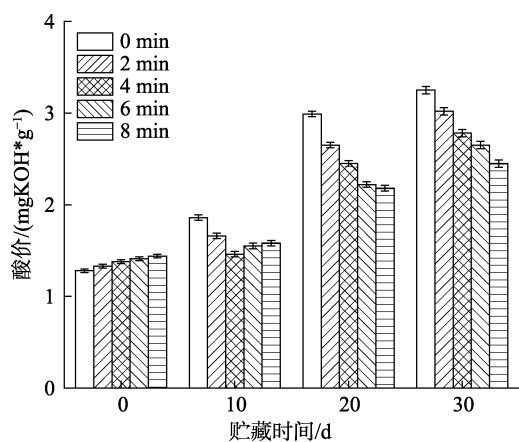


图 7 不同加热时间对藜麦酸价的影响

Fig.7 Effect of different heating time on acid value of quinoa

2.11 不同加热方式对藜麦乳感官评定的影响

由于藜麦乳感官评定的研究报道较少, 微波加热处理对藜麦脂肪酶的活性会产生影响, 同时也会影响藜麦乳的感官特性, 本研究在对藜麦乳整体感官评价评分的基础上, 将风味评分的比例提高。

由图 8 得知, 感官评定得分最高的是微波处理组, 表明微波处理后, 无论是从口感、色泽还是滋味等方面都具有很高的可接受性。焙烤和传

统水浴的加热次之, 主要是因为传统的传导加热方式, 热速率较慢, 热能损耗大, 处理条件较温和。单从风味物质的评定来看, 微波和其他加热方法相比有着独特的优势, 微波加热使藜麦中的脂肪酶钝化, 降低了脂质氧化发生的可能性。此外微波和焙烤等热处理方式使藜麦中的氨基酸或小分子肽和还原糖发生美拉德反应, 增加了样品的色素, 反应生成的吡咯、吡嗪、糠醛等风味物质, 掩盖了藜麦中的不良风味, 使整体的感官性状得到改善。

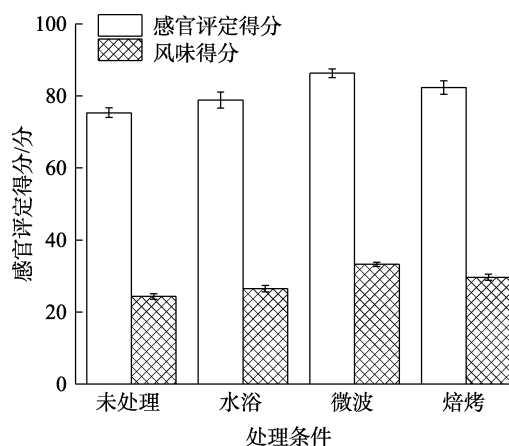


图 8 不同加热方式藜麦乳感官评定的影响

Fig.8 Effect of different heating methods on sensory evaluation of quinoa milk

3 结论

本文以藜麦为原料, 研究了微波处理对藜麦脂肪酶的钝化作用和藜麦中风味物质的影响, 并对不同条件处理的藜麦乳进行了感官评定。微波功率为 600 W, 处理时间为 4 min 时对藜麦脂肪酶活性的抑制效果最好。微波的交变电磁场使脂肪酶活性降低, 藜麦中不良风味物质甲基酮、1-辛烯-3-醇、反反-2,4-癸二烯醛的含量相应下降。适当的微波处理能够减缓藜麦中过氧化物值和酸价的增长, 提高了藜麦的贮藏稳定性。以藜麦乳为产品形式, 考察不同加热方式对藜麦乳感官评定的影响, 微波可通过美拉德反应产生吡咯、吡嗪、糠醛等期望风味物质, 掩盖原有的不良风味, 使藜麦乳感官品质明显提高。微波作为一种短时高效且副作用低的热处理方式, 可以有效抑制藜麦中脂肪酶的活性, 改善藜麦产品的风味, 对藜麦的加工贮藏中的应用具有重要的参考价值。

参考文献:

- [1] LI G, ZHU F. Quinoa starch: Structure, properties, and applications[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 181: 851-861.
- [2] 刘月瑶, 路飞, 高雨晴, 等. 藜麦的营养价值、功能特性及其制品研究进展[J]. *包装工程*, 2020, 41, 419(5): 65-74.
LIU Y Y, LU F, GAO Y Q, et al. Research progress on nutritional value, functional characteristics and products of quinoa[J]. *Packaging engineering*, 2020, 41(5): 56-65.
- [3] CEYHUN SEZGIN A, SANLIER N. A new generation plant for the conventional cuisine: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 86: 51-58.
- [4] VILCACUNDO R, HERNÁNDEZ-LEDESMA B. Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)[J]. *Current Opinion in Food Science*, 2017, 14: 1-6.
- [5] 胡国洲, 胡鹏, 陈光静, 等. 食品中酶的微波钝化技术研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2013, 39(3): 141-146.
HU G Z, HU P, CHEN G J, et al. Research progress on microwave passivation of enzymes in food[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2013, 39: 141-146.
- [6] ALANDIA G, RODRIGUEZ J P, JACOBSEN S E, et al. Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region[J]. *Global Food Security*, 2020, 26: 100429.
- [7] FERNÁNDEZ-LÓPEZ J, VIUDA-MARTOS M, PÉREZ-ALVAREZ J A. Quinoa and chia products as ingredients for healthier processed meat products: technological strategies for their application and effects on the final product[J]. *Current Opinion in Food Science*, 2021, 40: 26-32.
- [8] 安红周, 黄世豪, 罗琼, 等. 不同加工精度对大米主要储藏特性影响的研究[J]. *中国粮油学报*, 2020(10): 1-8.
AN H Z, HUANG S H, LUO Q, et al. Effect of different processing precision on main storage characteristics of rice[J]. *Cereals and Oils Association*, 2020(10): 1-8.
- [9] 王黎明, 马宁, 李颂, 等. 藜麦的营养价值及其应用前景[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(1): 381-384+389.
WANG L M, MA N, LI S, et al. Nutritional value and application prospect of quinoa[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(1): 381-384+389.
- [10] 王日思, 王淑洁, 贺小红, 等. 微波处理对果胶构象的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(24): 46-50.
WANG R S, WANG S J, HE X H, et al. Effect of microwave treatment on pectin conformation[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(24): 46-50.
- [11] 钱科盈, 任长忠, 方毅, 等. 微波加热抑制裸燕麦脂肪酶活性研究[J]. *粮油食品科技*, 2008(4): 44-47.
QIAN K Y, REN C Z, FANG Y, et al. Inhibition of lipase activity of naked oat by microwave heating[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2008(4): 44-47.
- [12] 张习军, 熊善柏, 赵思明. 微波处理对稻谷品质的影响[J]. *中国农业科学*, 200, 42(1): 224-229.
ZHANG X J, XIONG S B, ZHAO S M. Effect of microwave treatment on rice quality[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 200, 42(1): 224-229.
- [13] GB5009.3—2016.食品中水分的测定[S]. 中国: 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 2016.
GB5009.3—2016.Determination of moisture in food[S]. China: National Health and Family Planning Commission of the people's Republic of China, 2016.
- [14] GB5009.5—2016.食品中蛋白质的测定[S].中国: 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会国家食品药品监督管理总局, 2016.
GB5009.5—2016.Determination of protein in food[S].China: state health and Family Planning Commission of the people's Republic of China, State Food and Drug Administration, 2016.
- [15] GB5009.6—2016.食品中脂肪的测定[S].中国: 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会国家食品药品监督管理总局, 2016.
GB5009.6—2016.Determination of fat in food[S].China: state health and Family Planning Commission of the people's Republic of China, State Food and Drug Administration, 2016.
- [16] GB5009.9—2016.食品中淀粉的测定[S].中国: 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会国家食品药品监督管理总局, 2016.
GB5009.9—2016.Determination of starch in food[S].China: state health and Family Planning Commission of the people's Republic of China, State Food and Drug Administration, 2016.
- [17] 严俊安, 朱李佳, 丁薇, 等. 微波加热对食用油品质及脂肪酸成分的影响[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(3): 110-115.
YAN J A, ZHU L J, DING W, et al. Effect of microwave heating on quality and fatty acid composition of edible oil[J]. *Cereals and Oils Association*, 2020, 35(3): 110-115.
- [18] 顾军强, 钟葵, 周素梅, 等. 不同热处理燕麦片风味物质分析[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(4): 282-288+62.
GU J Q, ZHONG K, ZHOU S M, et al. Analysis of flavor compounds in oatmeal with different heat treatment[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 31(4): 282-288+62.
- [19] 王静, 朱永义. 米糠中脂酶学性质的研究. *中国粮油学报*, 2000, 15(5): 10-13.
WANG J, ZHU Y Y. Study on enzymatic properties of lipase from rice bran. *Cereals and Oils Association*, 2000, 15(5): 10-13.
- [20] SCHMIDTDANNERT C, SZTAJER H, STÖCKLEIN W, et al. Screening, purification and properties of a thermophilic lipase from *Bacillus thermocatenuatus*[J]. *Biochim Biophys Acta*, 1994, 1214(1): 43-53.
- [21] 张慧玲, 王志伟, 周中凯. 汽爆及发酵处理对藜麦秸秆挥发性风味物质的影响[J]. *天津科技大学学报*, 2019, 34(1): 24-31.
ZHANG H L, WANG Z W, ZHOU Z K. Effects of steam explosion and fermentation on volatile flavor compounds of quinoa straw[J]. *Journal of Tianjin University of Science and Technology*, 2019, 34(1): 24-31.
- [22] GB 5009.227—2016.食品中过氧化值的测定[S]. 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 2016.
GB 5009.227—2016.Determination of peroxide value in

- food[S]. State health and Family Planning Commission of the people's Republic of China, 2016.
- [23] GB 5009.229—2016. 食品中酸价的测定[S]. 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 2016.
GB 5009.229—2016.Determination of acid value in food[S]. State health and Family Planning Commission of the people's Republic of China, 2016.
- [24] 韩利英, 白雪, 刘卫星, 等. 感官品评技术在低温发酵乳制品中的应用[J]. 农产品加工, 2011(7): 71-72.
HAN L Y, BAI X, LIU W X, et al. Application of sensory evaluation technology in low temperature fermented dairy products[J]. Agricultural products processing, 2011(7): 71-72.
- [25] 魏艳丽, 郝蓉蓉, 周仑, 等. 青海藜麦复合型酸乳的制备工艺优化[J]. 青海科技, 2019, 26(4): 22-27.
WEI Y L, HAO R R, ZHOU L, et al. Optimization of preparation technology of Qinghai quinoa compound yoghurt[J]. Qinghai Science and Technology, 2019, 26(4): 22-27.
- [26] NOWAK V, DU J, CHARRONDIÈRE U R. Assessment of the nutritional composition of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). Food Chemistry, 2016(193): 47-54.
- [27] KO ALI, ETIN, METIN DURMUS. Investigation of some quinoa (Chenopodium Quinoa) genotypes in terms of quality ceiteria[J]. Journal of the institute of science & technology, 2020(2): 1396-1409.
- [28] JIANG X, HANSEN H C B, STROBE B W, et al. What is the aquatic toxicity of saponin-rich plant extracts used as biopesticides [J]. Environmental Pollution, 2018, 236(21): 416-424.
- [29] WANG K K, LIU Y X, CHEN Z W. et al. Studies on stabilization of wheat germ by inorganic salt-assisted microwave treatment[J]. Chinese journal of food, 2018, 18(9): 248-253. ㊞

· 信息窗 ·

粮食产后服务体系实现产粮大县全覆盖 百姓“米袋子”多装优质粮

按照党中央、国务院决策部署, 财政部、国家粮食和物资储备局组织实施优质粮食工程, 在促进农民增收、增加优质粮食有效供给、推动粮食产业提质增效、满足百姓消费升级需求等方面取得明显成效, 为落实国家粮食安全战略、乡村振兴战略发挥了重要作用。国新办 2021 年 6 月 18 日举行新闻发布会, 国家粮食和物资储备局有关负责人及相关地方介绍了推进优质粮食工程、加快粮食产业高质量发展有关情况。

“中央财政安排奖励资金 215 亿元, 引导带动地方和社会投资 600 多亿元, 谋划实施一批项目, 有力推动了优质粮食工程落地见效。”国家粮食和物资储备局总工程师翟江临介绍, 从各地实践看, 优质粮食工程实施成效显著, 粮食产后服务体系实现产粮大县全覆盖, 粮食质量安全检验监测体系实现监测面覆盖 5 万吨以上产粮县的 60%, “中国好粮油”行动增加优质粮食超过 5000 万吨。让百姓的“米袋子”多装优质粮, 吃上更多的“中国好粮油”, 更好满足广大人民群众粮油消费升级的需要。

在推进优质粮食工程过程中, 相关部门坚持问题导向、目标导向和结果导向相统一, 统筹推进粮食产后服务体系、粮食质量安全检验监测体系和“中国好粮油”行动计划三个子项建设。培育出以“湖州模式”“阜南样板”为代表的典型经验。安徽阜南种植弱筋小麦 35 万亩左右, 通过规模化生产、标准化田间管理, 亩均增收 200 多元, 5 万多农户直接受益。浙江湖州上线“智慧粮库”数字化管理系统, 实现国有粮库仓储粮食数量和质量实时监控。投资建设十万吨绿色低温粮库, 全过程采取冷链保鲜技术。打造“湖州好大米”区域公共品牌, 产品利润较普通大米提升了 3—5 倍。

国家粮食和物资储备局规划建设司司长钱毅介绍, 粮食产后服务是整个粮食产业链的一个重要环节。粮食产后服务体系, 是优质粮食工程的重要内容。目前, 已建立粮食产后服务中心 5300 多个, 农户科学储粮仓近 56 万套, 初步形成布局合理、需求匹配、设施先进、功能完善的专业化、社会化粮食产后服务体系。

翟江临表示, 要以优质粮食工程为抓手, 加快粮食产业的高质量发展, 在统筹实施“六大行动”上下功夫。一是实施粮食绿色仓储提升行动, 改造提升粮食仓储设施的功效与能力。二是实施粮食品种品质品牌提升行动, 擦亮“中国好粮油”的金字招牌。三是实施粮食质量追溯提升行动, 进一步完善粮食质检体系。四是实施粮食机械装备提升行动, 加快推进粮食机械装备和加工工艺科技创新、转型升级。五是实施粮食应急保障能力提升行动, 形成逐级保障、层级响应的粮食应急保障机制。六是实施粮食节约减损健康消费提升行动, 深入开展爱粮节粮宣传教育。

(来源:《人民日报》2021 年 6 月 19 日 2 版、国家粮食和物资储备局官网)