

乳酸链球菌素复配抑菌剂对小麦储藏过程中微生物多样性和品质的影响

李听听, 陈伟, 卢中一, 李广富

(山东农业大学食品学院, 山东泰安 271018)

摘要: 用山梨酸钾、仲丁胺与乳酸链球菌素(Nisin)组成复配抑菌剂处理小麦, 经30℃、相对湿度75%条件下储藏35d, 研究复配抑菌剂对小麦储藏中微生物类群、小麦品质的影响及其相关性。结果表明: 与对照相比, Nisin、Nisin和山梨酸钾复配物、Nisin和仲丁胺复配物、山梨酸钾和仲丁胺复配物、Nisin山梨酸钾和仲丁胺三者复配物对小麦中真菌总数分别抑制了3.62、64.34、8.61、37.03、50.02倍, Nisin、山梨酸钾和仲丁胺三者复配物对小麦中真菌菌数、曲霉菌数、青霉菌数、芽孢杆菌菌数、细菌菌数分别抑制了50.02、55.44、2.89、75.14、86.66倍, 微生物复配抑菌剂的最佳组合为每千克小麦0.20g Nisin、1.00g山梨酸钾和2.00g仲丁胺。相关性分析表明: 小麦的真菌总数、曲霉数、青霉数、芽孢杆菌数、细菌数均与脂肪酸值和总酸值呈明显正相关, 与小麦沉淀值呈明显负相关。

关键词: 乳酸链球菌素; 山梨酸钾; 仲丁胺; 复配抑菌剂; 微生物多样性; 脂肪酸; 总酸; 沉淀值

文章编号: 1673-9078(2014)12-143-148

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.12.024

Influence of Nisin Compound Antimicrobial Agent on Microbial Diversity and Quality of Stored Wheat

LI Ting-ting, CHEN Wei, LU Zhong-yi, LI Guang-fu

(College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract: Wheat grain was treated with an antimicrobial agent prepared from various combinations of potassium sorbate, 2-aminobutane, and nisin, and then stored at 30 °C and 75% relative humidity for 35 days. The effect of the antimicrobial agent on the microbial diversity in the stored wheat and its correlation with the subsequent quality of wheat was studied. The result showed that fungistatic activity of nisin, nisin in combination with potassium sorbate, nisin in combination with 2-aminobutane, potassium sorbate in combination with 2-aminobutane, and nisin in combination with potassium sorbate and 2-aminobutane was 3.62, 64.34, 8.61, 37.03, and 50.02 times higher than that of the control, respectively. Moreover, the values for inhibitory activity of nisin in combination with potassium sorbate and 2-aminobutane on the microbial count of fungi, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Bacillus* sp., and other bacteria were 50.02, 55.44, 2.89, 75.14, and 86.66 times higher than that of the control. The optimal ratio of the combination was 0.20 g Nisin, 1.00 g potassium sorbate, and 2.00 g 2-aminobutane per kilogram of wheat. The correlation analysis showed that the microbial count of fungi, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Bacillus* sp., and other bacteria were positively correlated with the amount of fatty acids and the total acids, and negatively correlated with the precipitation value.

Key words: nisin; potassium sorbate; 2-aminobutane; antimicrobial agents; microbial diversity; fatty acids; total acid; the precipitation value

据估计, 全世界的粮食损耗量约为总产量的10%, 其中由于微生物的危害所造成的霉变损失占2%~3%, 这仅是数量上的估算, 而品质上的损害则更是难以概述的^[1]。Ortiz Johana等^[2]研究指出细菌和霉

收稿日期: 2014-06-09

基金项目: 泰安市科技发展计划项目(20103009)

作者简介: 李听听(1988-), 男, 在读硕士, 研究方向: 食品微生物应用
通讯作者: 陈伟(1970-), 女, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向: 微生物学, 发酵食品

菌污染的小麦粉, 由于蛋白质被微生物分解, 导致面筋值含量减少和品质下降。Sorokulova等^[3]研究认为污染小麦粉的15种枯草芽孢杆菌中10种和6种地衣芽孢杆菌中的4种能够使实验室烘焙的面包发生黏性腐败。目前, 研究防霉剂在粮食储藏中对微生物多样性研究的相关报道还不多。Blane J^[4]研究生物防腐剂乳酸链球菌素(Nisin)能有效地抑制储粮上许多细菌尤其对G⁺菌, 如枯草芽孢杆菌、嗜热脂肪芽孢杆菌等有很强的抑制作用。程芳^[5]用4种抑菌剂处理小麦后与

对照相比, 肿丁胺 Nisin 和山梨酸钾处理的小麦中芽孢杆菌菌落总数均下降, 分别下降了 1.07 倍、1.11 倍、1.08 倍, 那他霉素、肿丁胺、山梨酸钾、Nisin 处理霉菌菌落总数与对照相比分别降低了 1643 倍、348 倍、32 倍、9 倍。盛强^[6]筛选出的两组分(双乙酸钠:山梨酸钾=4:1 *m/m*)与三组分(双乙酸钠:丙酸钙:山梨酸钾=6:1:2 *m/m*)两种高效复合型防霉剂, 其对储粮常见霉菌, 如黄曲霉和灰绿曲霉等具有较强的抑制能力。

随着科技的发展, 单一性的抑菌剂已经满足不了人们的需求, 人们开始越来越多的采用复配抑菌剂。在单一物质进行抑菌作用研究的基础上, 结合抑菌作用原理及效果, 将抑菌效果比较好的两种或几种抑菌剂复配, 来寻求抑菌效果更好的复配抑菌剂。自 20 世纪 70 年代以来, 欧、美、日本等国家或地区都相继研制成功了一些复配菌剂, 很多已经开始进行大规模的生产, 并形成了系列化的产品。T. Economou, N^[7]将 Nisin 和 EDTA 进行复配, 同时结合气调应用到新鲜鸡肉的保鲜中, 500 IU/g 的 Nisin 和 50 mM EDTA 的复配可将新鲜鸡肉的保鲜期延长至 13~14 d。

而本研究中所采用的食品级抑菌剂乳酸链球菌素、山梨酸钾和仲丁胺等在国内预防粮食霉变研究中尚处于起步阶段, 目前上述抑菌剂主要应用于饲料、食品、果蔬等储藏方面的研究^[8-9]。以肿丁胺、山梨酸钾与 Nisin 组合成不同的 Nisin 复配抑菌剂对小麦处理, 将处理后的小麦置于温度 30 °C、相对湿度 75% 的环境中储藏, 测定储藏过程中小麦微生物多样性及品质变化规律, 旨在为研制和筛选出能满足粮食储藏要求的复配抑菌剂产品。

1 材料和方法

1.1 试验材料

1.1.1 小麦样品

本试验用到的小麦为泰安当地的品种(鲁麦 21), 于 2013 年夏季收获, 购于市场。

1.1.2 试剂

Nisin, 大连英斯特生物技术有限公司; 山梨酸钾, 天津市凯通化学试剂有限公司; 仲丁胺, 天津市凯通化学试剂有限公司。

1.1.3 仪器和设备

BS124S 分析天平(精度 0.0001 g), 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司; YXQGO2 高压蒸汽灭菌锅, 山东新华医疗器械有限公司; SW-CJ-1CU 超净工作台, 苏净集团安泰公司; LRH-250 生化培养箱, 上海一恒科技有限公司; HH-4 数显恒温水浴锅, 国华电

器有限公司; pHs-3 型酸度计, 上海第二分析仪器厂; HYG-B 全温度摇瓶柜, 太仓市实验设备厂; JFSD-70 实验室粉碎磨, 上海市嘉定粮油检测仪器厂; 202 型-鼓风干燥箱, 中国龙口市先科仪器公司; YS 光学显微镜: 日本尼康公司。

1.2 试验方法

1.2.1 水分调节方法

将预处理过的小麦样品放入灭菌后的玻璃容器内, 按其含水量计算调节至目标含水量所需的理论添加无菌水量, 用喷雾器分 3 次将 1.3 倍理论添加水量的蒸馏水喷到粮食表面, 用保鲜膜覆盖使水分被完全吸收和平衡, 获得所需要平衡水分 13.60%^[10]。

1.2.2 小麦样品不同抑菌剂的处理

表 1 不同试验处理

Table 1 Different combinations of the antimicrobial agent

组合号	试验处理
处理 1	Nisin(0.20 g/kg)
处理 2	山梨酸钾(1.00 g/kg)
处理 3	仲丁胺(2.00 g/kg)
处理 4	Nisin(0.20 g/kg) + 山梨酸钾(1.00 g/kg)
处理 5	Nisin(0.20 g/kg) + 仲丁胺(2.00 g/kg)
处理 6	山梨酸钾(1.00 g/kg) + 仲丁胺(2.00 g/kg)
处理 7	Nisin(0.20 g/kg) + 山梨酸钾(1.00 g/kg) + 仲丁胺(2.00 g/kg)
对照	无菌水

根据食品添加剂使用的国家标准(GB2760-2011), 本试验选用 Nisin、山梨酸钾、仲丁胺 3 种高效无公害的抑菌剂, 进行不同组合处理的优化实验, 确定了 3 种抑菌剂对每千克小麦最佳量为 0.20 g、1.00 g、2.00 g, 并按照 3 种抑菌剂最佳浓度进行不同组合, 每个组合共 10 mL 均匀喷洒在 1500 g 粮食上, 平均做三个平行, 每个样品的小麦量是 500 g, 并做空白对照。4 °C 放置 24 h, 平衡水分在 13.60% 左右。将处理好的粮食放在食品级 PE (0.05 mm) 保鲜袋中, 放在培养箱中在温度: 30 °C, 相对湿度: 75% 下培养, 定期取样测定相关指标。

1.2.3 相关指标的测定法

小麦样品含水率的测定按照(GB 5497-1985 粮食、油料检验水分测定法)执行; 小麦脂肪酸值含量的测定按照(GB/T 5510-2011 粮油检验 粮食、油料脂肪酸值测定)执行; 小麦总酸度值含量的测定按照(GB/T 5517-2010 粮食检验 粮食及制品酸度的测定)执行; 小麦沉淀值的测定按照(GB/T 15685-2011 粮油检验 小麦沉淀指数测定 SDS 法)执行; 小麦中

霉菌的分离及鉴定参照(GB/T 4789.16-2003 食品卫生微生物学检验 常见产毒霉菌的鉴定)、中国真菌志第五卷“曲霉属及相关有性型”和(齐祖同, 1997)执行^[1]; 小麦中芽孢杆菌和细菌总数采用稀释平板计数法计算菌落总数, 按照(GB 4789.2-2010 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定)执行; 芽孢杆菌的测定: 将合适的稀释度在 80 °C 水浴 10 min, 用倾注法在 37 °C 培养 24 h, 观察计数。

1.3 数据统计方法

数据处理和分析采用 SAS v9.0 软件

2 结果与分析

2.1 复合抑菌剂对小麦含水率的影响

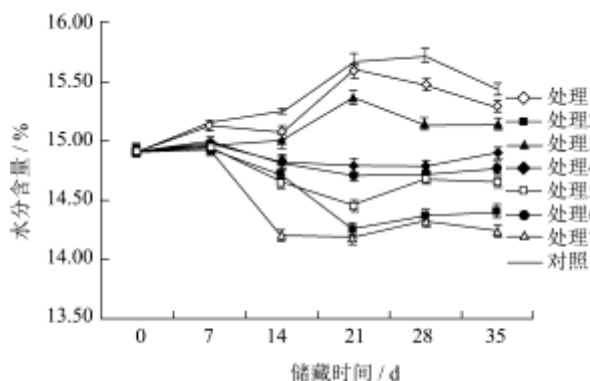


图 1 不同复合抑菌剂对贮麦各阶段水分的影响

Fig.1 Effects of different antimicrobial agent combinations on moisture in wheat during the storage period

用 7 种复合抑菌剂处理的小麦样品在 30 °C, RH75% 的环境中储藏 35 d。小麦水分在储藏前 7 d, 大部分呈现短暂上升趋势。小麦在 RH75% 条件下, 由于环境中水气含量低, 解吸率大于回收率, 平衡水分会下降^[12]。随着储藏时间的延长, 小麦中的真菌和细菌开始大量繁殖, 尤其是真菌, 大量分解小麦中的蛋白质和糖类转变为水^[13]。此时贮麦中的水分是由环境、微生物及自身代谢三重作用的综合结果。所以, 在 7~28 d 时, 小麦水分呈现波折起伏的状态。经过 35 d 储藏后, 小麦各处理组含水率为: 对照 (15.43%) > 处理 1 (15.28%) > 处理 3 (15.15%) > 处理 4 (14.90%) > 处理 6 (14.76%) > 处理 5 (14.65%) > 处理 2 (14.40%) > 处理 7 (14.24%)。从整个储藏过程来看, 抑制水分上升最好的实验组是处理 7, 其次是处理 2。经单因素方差分析, 各处理水分含量与对照相比, 无显著性差异 ($P>0.05$)。

2.2 复配抑菌剂处理对小麦储藏过程中真菌

的影响

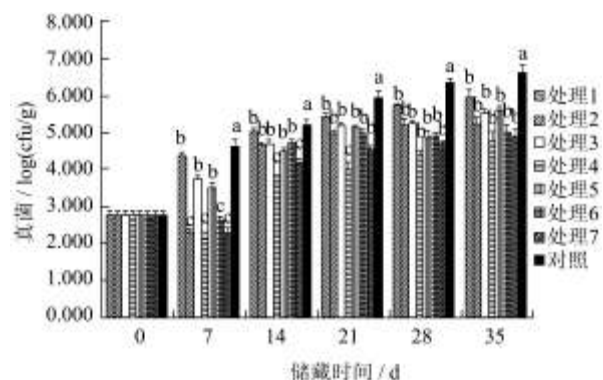


图 2 复配抑菌剂对贮麦可培养真菌总菌落的影响

Fig.2 Effect of different antimicrobial agent combinations on the total plate counts of culturable fungi in wheat during the storage period

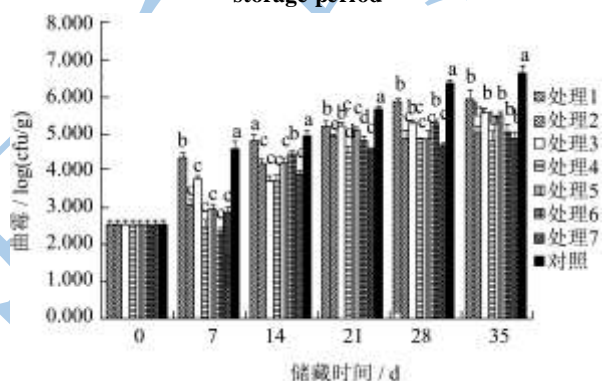


图 3 复配抑菌剂对贮麦可培养曲霉总菌落的影响

Fig.3 Effect of different antimicrobial agent combinations on total plate counts of culturable *Aspergillus* in wheat during the storing period

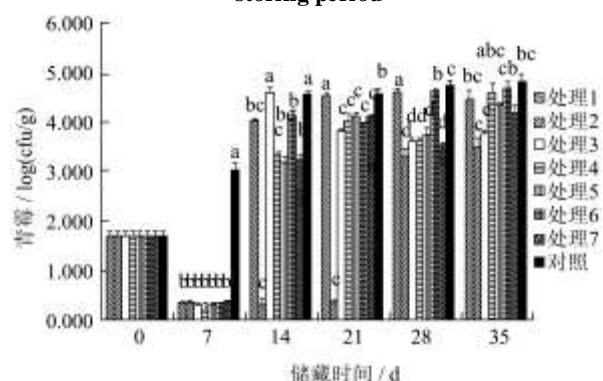


图 4 复配抑菌剂对贮麦可培养青霉总菌落的影响

Fig.4 Effect of different antimicrobial agent combinations on the total plate counts of culturable *Penicillin* in wheat during the storage period

经不同复配抑菌剂处理后, 真菌菌相变化如图 2、3、4 所示, 在储藏第 35 d 时间内, 7 种复配抑菌剂处理后的小麦各真菌菌落数与对照组相比, 均有显著性差异 ($P<0.05$)。随着储藏时间的延长, 大部分复配

抑菌剂抑真菌效果(总真菌量、曲霉量、青霉量)均比相应的单一抑菌剂要好,这可能由于复配抑菌剂的协同作用,增强抑菌的时间和能力。在储藏 35 d 时,与对照相比,对于可培养真菌总量, Nisin、Nisin 和山梨酸钾复配物、Nisin 和仲丁胺复配物、山梨酸钾和仲丁胺复配物、Nisin 山梨酸钾和仲丁胺复配物分别抑制了 3.62、64.34、8.61、37.03、50.02 倍;对于曲霉总量,5 种抑菌剂分别抑制了 3.71、58.42、11.33、32.74、55.44 倍;对于青霉总量,5 种抑菌剂分别抑制了 1.22、0.56、2.03、0.33、2.89 倍。可知对于真菌各微生物抑制效果最好处理 4(Nisin 和山梨酸钾的组合),其次是处理 7。

2.3 复配抑菌剂处理对小麦储藏过程中细菌的影响

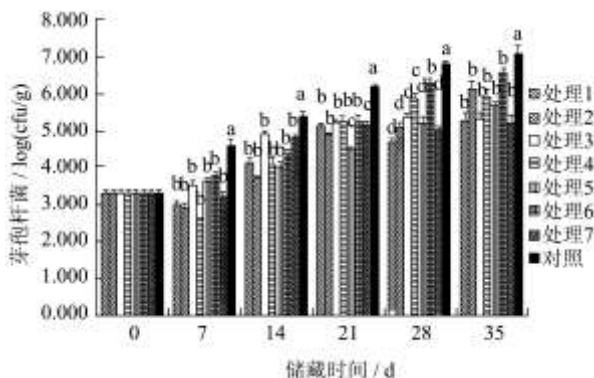


图 5 复配抑菌剂对贮藏小麦可培养芽孢杆菌总菌落的影响

Fig.5 Effect of different antimicrobial agent combinations on the total plate counts of culturable bacteria in wheat during the storage period

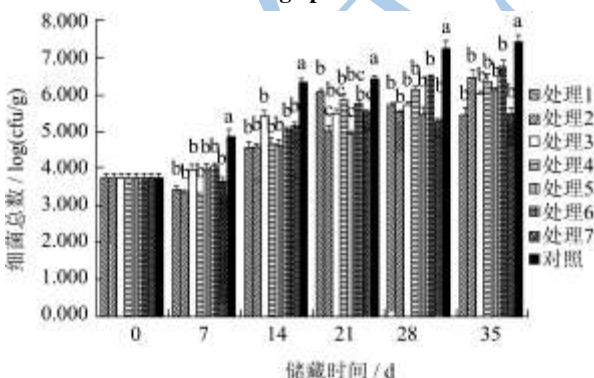


图 6 复配抑菌剂对细菌总菌落的影响

Fig.6 Effect of different antimicrobial agent combinations on the total plate counts of culturable bacteria in wheat during the storage period

小麦在储藏过程中芽孢杆菌与细菌菌落总数变化

如图 5、6 所示,在储藏第 35 d 时间内,7 种复配抑菌剂处理后的小麦各细菌菌落数与对照组相比,均有显著性差异($P < 0.05$)。随着储藏时间的延长,对于小麦芽孢杆菌和细菌总数抑制复配稍次单重抑菌剂,可能原因复配处理组大大减少了真菌的种类和数量,而细菌通过营养竞争,逐步成为优势微生物。对于小麦芽孢杆菌, Nisin、Nisin 和山梨酸钾复配物、Nisin 和仲丁胺复配物、山梨酸钾和仲丁胺复配物、Nisin 山梨酸钾和仲丁胺复配物分别抑制了 61.31、15.22、24.23、2.50、75.14 倍;对于细菌总数,5 种抑菌剂分别抑制了 80.70、11.04、18.58、3.10、86.66 倍。对于细菌抑制最好的是处理 7(Nisin 山梨酸钾和仲丁胺复配物),其次是处理 1(Nisin)。整个储藏过程中,通过抑菌能力、抑菌范围和抑菌稳定性综合分析,相对最佳的抑菌剂组合是处理 7,即“乳酸链球菌素(0.20 g/kg) + 山梨酸钾(1.00 g/kg) + 仲丁胺(2.00 g/kg)”的组合。

2.4 复合抑菌剂处理对小麦品质的影响

小麦储藏过程中品质的变化如表 2 所示,小麦脂肪酸和总酸整个过程中均呈上升趋势,这是因为在微生物作用下,小麦中的脂肪酶被大量激活,使小麦中的脂肪水解成甘油和脂肪酸,随着储藏时间延长,脂肪酸产生率大于损耗率,脂肪酸被逐步积累^[4],同时,也使得小麦中的总酸含量增加。在储藏 35 d 后,7 个处理相对于对照组相比,小麦中脂肪酸依次减小了 23.78、25.22、48.33、29.94、56.30、46.63、61.14 mg KOH/100 g 干基;7 个处理相对于对照组相比,小麦中总酸依次减小了 0.06、0.28、0.27、0.42、0.34、0.22、0.46 KOH mL/10 g 粮食,最佳的抑制脂肪分解和总酸生成的是处理 7。

而整个储藏过程中,小麦的沉淀值随储藏时间延长呈逐步下降趋势。随着储藏时间延长,小麦中微生物大量繁殖,特别是霉菌,分解小麦中蛋白质和多肽类物质转变为水^[13],使得小麦中的蛋白量减少。在储藏 35 d 后,7 个处理相对于对照组小麦中的沉淀值依次提升了 6.05%、9.6%、6.09%、7.02%、11.73%、8.71%、12.50%。综上可知,最佳的抑制脂肪和蛋白质分解及总酸生成处理组合是处理 7,即“乳酸链球菌素(0.20 g/kg) + 山梨酸钾(1.00 g/kg) + 仲丁胺(2.00 g/kg)”的组合;其次是处理 5“Nisin(0.20 g/kg) + 仲丁胺(2.00 g/kg)”的组合。再者,整个储藏过程,经单因素方差分析,7 个处理组与对照相比,脂肪酸有显著性差异($P < 0.05$),总酸和沉淀值无显著性差异($P > 0.05$)。

表2 复合抑菌剂对储藏各阶段品质的影响

Table 2 Effect of the antibacterial agent combinations on wheat quality during the storage

		0 d	7 d	14 d	21 d	28 d	35 d
脂肪酸 (KOH mg/100 g 干基)	处理 1	45.21 ^a ±0.78	61.91 ^{ab} ±0.93	82.11 ^b ±1.28	97.45 ^b ±0.74	103.67 ^b ±1.33	104.80 ^b ±0.49
	处理 2	45.21 ^a ±0.78	59.90 ^{ab} ±0.72	73.67 ^c ±0.95	95.44 ^b ±0.82	102.11 ^b ±1.11	103.41 ^b ±1.87
	处理 3	45.21 ^a ±0.78	61.22 ^{ab} ±0.73	62.44 ^d ±1.41	74.12 ^c ±1.11	79.45 ^c ±0.67	80.33 ^d ±0.88
	处理 4	45.21 ^a ±0.78	55.31 ^b ±0.61	58.89 ^d ±1.05	73.45 ^c ±1.44	81.11 ^c ±0.96	98.72 ^c ±0.49
	处理 5	45.21 ^a ±0.78	55.11 ^b ±2.79	59.45 ^d ±1.44	63.89 ^d ±1.07	64.45 ^d ±1.22	72.31 ^e ±0.96
	处理 6	45.21 ^a ±0.78	58.13 ^{ab} ±0.96	58.67 ^d ±1.07	69.78 ^c ±0.73	81.23 ^c ±1.21	82.01 ^d ±0.87
	处理 7	45.21 ^a ±0.78	55.71 ^b ±0.35	59.33 ^d ±1.24	59.56 ^e ±2.92	61.14 ^d ±1.27	67.54 ^f ±1.63
	对照	45.21 ^a ±0.78	63.40 ^a ±0.66	89.89 ^a ±1.67	116.20 ^a ±1.24	125.51 ^a ±0.72	128.61 ^a ±1.23
总酸 (KOH mL/10 g 粮食)	处理 1	2.20 ^a ±0.41	2.41 ^b ±0.08	2.52 ^a ±0.02	2.61 ^a ±0.06	2.67 ^{ab} ±0.03	2.94 ^a ±0.01
	处理 2	2.20 ^a ±0.41	2.21 ^b ±0.03	2.32 ^a ±0.13	2.51 ^a ±0.08	2.55 ^{bc} ±0.06	2.72 ^b ±0.01
	处理 3	2.20 ^a ±0.41	2.28 ^b ±0.27	2.39 ^a ±0.01	2.41 ^a ±0.37	2.67 ^{ab} ±0.05	2.73 ^b ±0.14
	处理 4	2.20 ^a ±0.41	2.26 ^b ±0.07	2.28 ^a ±0.11	2.35 ^a ±0.28	2.39 ^c ±0.09	2.58 ^c ±0.07
	处理 5	2.20 ^a ±0.41	2.24 ^b ±0.02	2.44 ^a ±0.24	2.47 ^a ±0.07	2.49 ^{bc} ±0.09	2.66 ^{bc} ±0.07
	处理 6	2.20 ^a ±0.41	2.22 ^b ±0.14	2.41 ^a ±0.09	2.54 ^a ±0.12	2.57 ^{bc} ±0.07	2.78 ^b ±0.06
	处理 7	2.20 ^a ±0.41	2.25 ^b ±0.11	2.28 ^a ±0.04	2.41 ^a ±0.15	2.44 ^c ±0.04	2.54 ^{bc} ±0.07
	对照	2.20 ^a ±0.41	2.69 ^a ±0.02	2.72 ^a ±0.30	2.75 ^a ±0.52	2.77 ^a ±0.13	3.00 ^a ±0.09
沉淀值 /mL	处理 1	69.01 ^a ±1.22	61.45 ^d ±0.57	60.75 ^c ±1.06	57.15 ^{ef} ±0.14	55.50 ^d ±0.57	55.02 ^a ±0.92
	处理 2	69.01 ^a ±1.22	64.20 ^c ±0.49	63.55 ^b ±0.64	57.70 ^{de} ±0.71	57.25 ^c ±0.48	56.95 ^a ±0.71
	处理 3	69.01 ^a ±1.22	65.01 ^c ±1.21	61.55 ^c ±0.14	59.70 ^c ±0.57	57.75 ^{bc} ±0.95	55.60 ^a ±0.49
	处理 4	69.01 ^a ±1.22	68.10 ^{ab} ±0.49	64.70 ^b ±0.64	60.85 ^b ±1.06	60.55 ^a ±0.21	58.01 ^a ±0.57
	处理 5	69.01 ^a ±1.22	66.10 ^{bc} ±1.21	61.45 ^c ±0.99	59.30 ^c ±0.64	58.95 ^b ±0.57	56.45 ^a ±0.35
	处理 6	69.01 ^a ±1.22	66.05 ^{bc} ±0.99	64.55 ^b ±1.34	58.55 ^{cd} ±0.14	57.85 ^{bc} ±1.34	56.25 ^a ±1.85
	处理 7	69.01 ^a ±1.22	68.85 ^a ±0.35	67.15 ^a ±0.57	62.20 ^a ±0.28	60.75 ^a ±0.57	58.45 ^a ±0.77
	对照	69.01 ^a ±1.22	60.15 ^d ±1.84	59.05 ^d ±0.99	56.20 ^{cd} ±0.49	52.95 ^e ±0.85	51.95 ^b ±1.41

2.5 小麦品质与储藏小麦微生物之间的线性相关性

相关性分析如表3所示, 所测小麦的微生物菌落量均与脂肪酸值和总酸值呈明显正相关, 所测小麦的微生物菌落量均与小麦沉淀值呈明显负相关。处理2、3、4、6的真菌量和曲霉量均与小麦脂肪酸值呈显著正相关 ($P<0.05$); 处理3、4、6的小麦芽孢杆菌量与小麦脂肪酸值呈显著正相关 ($P<0.05$); 7个处理组合的真菌量和曲霉量均与小麦总酸值呈显著正相关 ($P<0.05$); 除了处理1和3外的其余处理组的青霉均与总酸值呈显著正相关 ($P<0.05$); 除了处理2外的其余处理组的芽孢杆菌量均与总酸值呈显著正相关 ($P<0.05$); 处理3、4、5、6的细菌量与小麦总酸值呈显著正相关 ($P<0.05$); 处理3、4、6、7的真菌量和曲霉量与小麦沉淀值呈显著负相关 ($P<0.05$); 处理5和6的青霉均与沉淀值呈显著负相关 ($P<$

0.05); 处理3、4的芽孢杆菌量和细菌总量与小麦沉淀值呈显著负相关 ($P<0.05$)。

综观整个相关性分析, 小麦的真菌总数和曲霉总数与小麦三个品质指标总是呈现明显类似相关性, 这说明在30℃相对湿度75%的环境中小麦上的曲霉菌是最大优势菌, 曲霉是影响小麦品质的主导因素, 青霉、小麦芽孢杆菌和细菌不太适合此环境。

3 结论

3.1 经5种Nisin复配抑菌剂处理的鲁麦21, 在30℃、RH75%条件下储藏35d, 小麦中可培养真菌、曲霉、青霉、小麦芽孢杆菌、细菌菌数与其他各指标的变化如下: Nisin、Nisin和山梨酸钾复配物、Nisin和仲丁胺复配物、山梨酸钾和仲丁胺复配物、Nisin山梨酸钾和仲丁胺三者复配物对小麦中真菌总数的抑制效率分别提高3.62、64.34、8.61、37.03、50.02倍, 对曲霉抑制率分别提高了3.71、58.42、11.33、32.74、55.44倍, 对青霉抑制率分别提高了1.22、0.56、2.03、

0.33、2.89 倍,对芽孢杆菌抑制率分别提高了 61.31、15.22、24.23、2.50、75.14 倍,对细菌抑制率分别提高 80.70、11.04、18.58、3.10、86.66 倍,由“Nisin(0.20 g/kg)+山梨酸钾(1.00 g/kg)+仲丁胺(2.00 g/kg)”组合为最佳抑菌组合,相对于对照组,对真菌总数、曲霉总数、青霉总数、芽孢杆菌总数、细菌总数抑制了 50.02、55.44、2.89、75.14、86.66 倍;相对于对照组,5 个抑菌组合处理过的小麦脂肪酸含量分别降低了 23.78、25.22、48.33、29.94、56.30、46.63、61.14 mg KOH/100 g 干基,5 个抑菌组合处理过的小麦总酸分别减小了 0.06、0.28、0.27、0.42、0.34、0.22、0.46 KOH mL/10g 粮食,5 个抑菌组合处理过的小麦中的沉淀值分别提升了 6.11%、7.02%、11.73%、8.71%、12.50%。

表 3 各储藏阶段小麦品质与微生物间的相关性

Table 3 Correlation between microbial indicators and wheat quality parameters during the storage period

	真菌	曲霉	青霉	芽孢杆	细菌	
脂肪酸	处理 1	0.77	0.64	0.68	0.73	0.65
	处理 2	0.80*	0.81*	0.73	0.69	0.75
	处理 3	0.84*	0.82*	0.12	0.91*	0.83
	处理 4	0.98**	0.95*	0.85*	0.89*	0.98**
	处理 5	0.59	0.58	0.78	0.66	0.68
	处理 6	0.91*	0.89*	0.88*	0.82*	0.88*
	处理 7	0.79	0.79	0.68	0.84*	0.75
	对照	0.79	0.74	0.73	0.73	0.79
总酸	处理 1	0.93*	0.88*	0.39	0.83*	0.86
	处理 2	0.91*	0.91*	0.84*	0.71	0.78
	处理 3	0.91*	0.89*	0.20	1.00**	0.97*
	处理 4	0.98**	0.93*	0.90*	0.81*	0.99**
	处理 5	0.88*	0.87*	0.85*	0.82*	0.90*
	处理 6	0.81*	0.81*	0.82*	0.89*	0.89*
	处理 7	0.95*	1.00**	0.88*	0.88*	0.87*
	对照	0.72	0.68	0.47	0.69	0.69
沉淀值	处理 1	-0.74	-0.63	-0.62	-0.69	-0.58
	处理 2	-0.72	-0.72	-0.65	-0.52	-0.59
	处理 3	-0.89*	-0.85*	-0.14	-0.92*	-0.93*
	处理 4	-0.93*	-0.92*	-0.76	-0.83*	-0.94*
	处理 5	-0.66	-0.65	-0.80*	-0.69	-0.69
	处理 6	-0.86*	-0.83*	-0.79*	-0.77	-0.79
	处理 7	-0.86*	-0.91*	-0.74	-0.97**	-0.83*
	对照	-0.76	-0.73	-0.61	-0.73	-0.79

注: *表示显著线性相关性 $P<0.05$, **表示极显著性相关性

$P<0.001$ 。

3.2 小麦的真菌数、曲霉数、青霉数、芽孢杆菌数、细菌数均与脂肪酸值和总酸值呈明显正相关,与小麦

沉淀值呈明显负相关;小麦的真菌总数和曲霉总数与小麦三个品质指标总是呈现明显类似相关性,这说明在 30 °C RH75%的环境中小麦上的曲霉菌是最大优势菌,曲霉是影响小麦品质的主导因素。

参考文献

[1] Rose D J, Ogdan L V, Dumn M L, et al. Quality and sensory characteristics of hard red wheat after residential storage for up to 32 y [J]. Journal of Food Science, 2011, 76(1): S8-S13

[2] Ortiz Johana, Van Camp John, Mestdagh Frédéric, et al. Mycotoxin co-occurrence in rice, oat flakes and wheat noodles used as staple foods in Ecuador [J]. Food additives & contaminants. Part A, Chemistry, analysis, control, exposure & risk assessment, 2013, 30(12): 2165-2176

[3] Sorokulova I B, Reva O N, Smirnov V V, et al. Genetic diversity and involvement in bread spoilage of Bacillus strains isolated from flour and rony bread [J]. Letters in Applied Microbiology 2003, 37(2): 169-173

[4] Blane J. Production by various species of monascus [J]. Biotechnology Letters, 1995, 17(3): 291-294

[5] 程芳,陈伟,李靖,等.4种抑制剂对小麦在贮藏过程中的微生物及品质影响[J].中国粮油学报.2013,28(4):67-71

CHENG Fang, CHEN Wei, LI Jing, et al. Influence of different antimicrobial agents on microorganisms and eating quality of wheat during storage [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2013, 28(4): 67-71

[6] 盛强.新型高效储粮防霉剂的研究[D].郑州:河南工业大学,2010

SHENG Qiang. Study on new type of high mildew grain storage [D]. Zhengzhou: Henan university of technology, 2010

[7] T Economou, N Pournis, A Ntzimani, I N Savvaidis Nisin-EDTA treatments and modified atmosphere packaging to increase fresh chicken meat shelf-life [J]. Food Chemistry, 2009(114): 1470-1476

[8] Alireza Alishahi. Antibacterial effect of chitosan nanoparticle loaded with nisin for the prolonged effect [J]. J Food Saf, 2014, 34(2): 111-118

[9] Ghadeer F Mehyar, Hamzah M, Al-Qadiri, et al. Edible coatings and retention of potassium sorbate on apples, tomatoes and cucumbers to improve antifungal activity during refrigerated storage [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2014, 38(1):175-182

[10] 黄淑霞,蔡静平,田海娟.主要粮食品种储藏期间霉菌活动特性研究[J].中国粮油学报,2012,28(1):99-102

HUANG Shu-xia, CAI Jin-ping, TIAN Hai-juan. Mould

- development characters of different stored grains [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2010, 28(1): 99-102
- [11] 齐祖同. 中国真菌志第五卷曲霉属及相关有性型[M]. 上海: 科学出版社, 1997
- QI Zu-tong. Chinese fungi: 5 (aspergillus and related sexual type)[M]. Shanghai: Science press, 1997
- [12] 周建新, 王璐, 彭雪霁, 等. 温湿度对小麦粉储藏过程中细菌量的影响研究[J]. 粮食储藏, 2010, 39(1): 42-44, 56
- ZHOU Jian-xin, WANG Lu, PENG Xue-ji, et al. Effect of storage temperature and relative humidity on aerobic plate counts in stored wheat [J]. GRAIN Storage, 2010, 39(1): 42-44, 56
- [13] 岳晓禹. 稻谷中黄曲霉及霉菌生长预测模型的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2009
- YUE Xiao-yu. The study on the predictive models of a.flavus and moulds in grain [D]. Beijing: China agricultural university, 2009
- [14] Juan Xing, Stephen Symons, Muhammad Shahin, et al. Sprouting detection at early stages in individual CWAD and CWRS wheat kernels using SWIR spectroscopy [J]. Sensory and Instrument. Food quality. 2010, (4): 95-100
- [15]

现代食品科技