

生姜成分差异 及采后贮藏保鲜技术研究进展

朱丹实¹, 刘仁斌², 杜伟², 葛永红¹, 曹雪慧¹, 励建荣^{1*}

(1.渤海大学食品科学研究院, 辽宁省食品安全重点实验室,
生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 辽宁锦州 121013;
2.大连仁禾集团凌海富民农业发展有限公司, 辽宁锦州 121000)

摘要:生姜是大众喜爱的香辛蔬菜。本文从不同生姜成分差异、鲜姜采后贮藏特性、保鲜技术等方面综述了生姜贮藏保鲜研究成果和进展, 可为进一步开发新型生姜保鲜技术, 延长鲜姜货架期提供参考。

关键词:生姜, 采后, 贮藏, 保鲜, 研究进展

Research progress in ingredient difference among different types of ginger and the postharvest preservation technology

ZHU Dan-shi¹, LIU Ren-bin², DU Wei², GE Yong-hong¹, CAO Xue-hui¹, LI Jian-rong^{1*}

(1. Research Institute of Food Science, Bohai University; Food Safety Key Lab of Liaoning Province; National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China;
2. Linghai Fumin Agricultural Development Co., LTD, Dalian Renhe Group, Jinzhou 121000, China)

Abstract: Ginger is a popular favorite spicy vegetable. This paper reviewed research achievement and progress in ingredient difference among different types of ginger, postharvest storage characteristic of fresh ginger and preservation technology. This could provide references for the further development of new fresh keeping technology to extend the shelf life of fresh ginger.

Key words: ginger; postharvest; preservation; fresh keeping; research progress

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)17-0375-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2015.17.069

姜(*Zingiber officinale* Rosc.)别名生姜、白姜,多年生草本,根状茎肥厚,有芳香及辛辣味,是全世界许多国家所喜爱的香辛植物原料。姜科姜属(*Zingiber* Boehmer)有80种,主要分布在亚洲、非洲及大洋洲的热带和亚热带国家,中国有14种^[1]。我国生姜年产量现已达1000万吨,约占世界产量的45%。

姜的地下茎含有精油、辣味物质、脂肪油、树脂、淀粉、戊聚糖、蛋白质、纤维素、蜡、有色物质和矿物元素等^[2]。以干重计,姜中淀粉占40%~60%,蛋白质6.2%~19.8%,总脂类5.7%~14.5%,粗纤维1.1%~7.0%。不同产地和不同培养环境的生姜,其活性成分和营养物质含量相差较大^[3]。除了营养成分外,鲜姜的活性成分还包括姜辣素^[4-5]、6-姜酚^[6-7]、姜黄素^[8]、生姜蛋白酶^[9]等,因此具有抗氧化、抗癌、抗神

经炎^[10-11]等多种功能特性。

生姜由于风味和功能性俱佳,越来越多的人开始将其作为蔬菜食用,而不是单纯作为调味料。然而鲜姜不耐贮藏,我国由于保鲜不当,造成的损失高达生姜总量的20%~40%。目前关于鲜姜采后贮藏技术方面的研究并不多见,本文针对生姜成分进行差异性分析并对鲜姜采后生理活性变化、贮藏保鲜特性及保鲜手段等方面进行综述,以期为开发生姜保鲜技术提供理论指导。

1 不同生姜的成分差异

姜的风味以及活性物质含量不仅由品种决定,地理条件、土壤类型、采收期、季节条件、耕作处理、成熟度及采后加工过程都会影响生姜的成分和功能特性^[12]。从姜的生理和加工特性上来看,鲜姜、老姜和干姜中的成分差别很大。

收稿日期:2014-12-24

作者简介:朱丹实(1978-),女,博士,副教授,主要从事生鲜食品贮藏加工方面的研究,E-mail:tjzds@sina.com。

*通讯作者:励建荣(1964-),男,博士,教授,主要从事生鲜食品贮藏加工与质量安全控制方面的研究,E-mail:lijr6491@163.com。

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划(2012BAD29B06);国家自然科学基金面上项目(31471639)。

利用多种分离提取技术对姜中风味物质和活性成分的分析结果表明,老姜与鲜姜具有不同的风味和功效^[13]。战琨友等^[14]为确定老姜和鲜姜的成分差异及功效,采用气相色谱-质谱联用技术鉴定了老姜和鲜姜的超临界 CO₂ 提取物的化学成分及相对含量。结果表明,老姜及鲜姜姜油树脂的提取率分别为 5.15% 和 4.67%,两者所含的化学成分基本相同,主要为 α -姜烯、 β -倍半水芹烯、 β -没药烯、 α -法尼烯、 α -姜黄烯、6-姜酚、6-姜烯酚及分解物姜油酮等,但相对含量差异显著。在呈香性萜类化合物中,老姜中 β -香茅醛、1,8-桉树脑、柠檬醛、乙酸香叶酯、香叶醇及 α -姜烯等化合物的相对含量显著低于鲜姜,且大香叶烯 D 和 γ -芹子烯仅在鲜姜中检测出,但是老姜中 α -姜黄烯的相对含量显著高于鲜姜。老姜中姜辣素类化合物的相对含量比鲜姜高 7.86%,特别是 6-姜烯酚和 10-姜烯酚的相对含量分别比鲜姜高 15.49% 和 30.51%。黄雪松等^[15]以广东生姜为原料,利用 GC-MS 研究比较鲜姜与干姜风味物质的差异。结果表明,鲜姜、干姜中风味物质的主要差异在于干姜中含有 2% 的姜酚衍生物(姜脑)和分解产物(姜酮等),此外干姜中还含有冰片、 β -马榄烯、正十六碳酸等长链脂肪酸、亚油酸乙酯等长链脂肪酸酯、甾醇类的同系物等成分,这些物质是导致干姜酒精提取液味道辛辣、苦涩的原因,而在鲜姜中并未检测出这些影响姜风味的成分。

姜油是富含生姜活性成分的重要功能性物质,鲜姜和干姜中姜油成分相差很大。林茂等^[16]采用水蒸汽蒸馏法提取鲜姜和干姜中的精油,并利用 GC-MS 分析精油的成分。结果表明,鲜姜和干姜精油的提取率分别为 0.29% 和 2.51%,而其干物质提取率则分别为 7.7% 和 2.8%;鲜姜精油和干姜精油中共鉴定出 60 种化合物,其中有 2 种在鲜姜精油中未检测出,有 12 种在干姜精油中未检测出,相对含量在 3% 以上的成分在鲜姜和干姜中都有 8 种;鲜姜精油色泽透明、辛香、有柠檬味、略带鲜花香气,而干姜精油色泽浑浊,辛香,不具有鲜姜所特有鲜花香气。

不同的干制方法对姜油中活性成分的含量影响也很大。Hawlder 等^[17]研究真空干燥、冷冻干燥及热泵干燥器中空气、氮气、二氧化碳等干燥介质对生姜干制效果及 6-姜酚含量的影响,表明各种干燥条件下 6-姜酚含量均持续增长,而惰性气体干燥比其他方法可以更好的保留生姜活性成分。Huang 等^[6]研究热风干燥温度对姜油得率及 6-姜酚向 6-姜烯酚转化效果的影响。结果表明,由于高温造成淀粉凝胶化进而影响姜油提取率,因此干燥温度低于 70 °C 时姜油得率较高。但是低温不能促进 6-姜酚向 6-姜烯酚的转化,温度高于 80 °C 才能诱导这种转化。此外,由于温度较低,日光晒制的干姜中 6-姜烯酚的含量也较低。Chumroenphat 等^[18]也致力于研究不同干燥条件对生姜植物素和抗氧化性质的影响,其结果同样表明,70 °C 烘干的生姜酚类化合物的含量和抗氧化性质都要优于 40、50、60 °C 及晒干及冷冻干燥的生姜。

除了挥发性风味物质和有效成分外,不同生姜

中微量元素的差别也很大。蒋云福等^[19]用火焰原子吸收分光光度法测定炮姜、干姜和高良姜中 Ca、Fe、Cu、Mn、Zn、Cd、Pb 等七种微量元素的含量,并分析不同姜之间微量元素的差异。结果表明,不同姜中微量元素的含量有较大差异。炮姜中 Fe、Cu、Zn、Cd 的含量都高于干姜和高良姜,高良姜中 Mn、Pb 的含量远远高于炮姜和干姜,而干姜中 Ca 的含量又是三种姜中最高的。

2 鲜姜采后生理及贮藏保鲜特性

鉴于生姜抗氧化、抑菌等方面的功能特性,目前对干姜功效成分的提取及应用方面的研究较多^[20]。然后,鲜姜和干姜具有明显不同的功效,最新的研究表明^[21],在对抗人呼吸道合胞病毒(HRSV)方面,鲜姜的抗病毒活性远高于干姜。但是,鲜姜作为一种季节性的作物,水分含量较高,微生物容易生长繁殖,在内源酶的作用下化学反应活跃^[22],因此其贮藏期明显比干姜短。

鲜姜收获可分为三次,前两次收获的鲜姜为母姜和嫩姜,一般只能鲜销或短期贮藏。第三次收获的鲜姜一般在霜降至立冬前后收获(应注意采收前不能受霜冻),其根茎部分膨大,地上部开始枯黄,适宜做中长期贮藏。中长期贮藏的鲜姜,采收时可稍带土,太湿可稍加晾晒,但不宜在田间过夜。为防日晒过度,采收以阴天为宜,但雨天和雨后采收的姜块不耐贮藏。收获初期的姜较脆嫩,易脱皮,含水量相对较高,应在室温下先贮放一段时间,使根茎逐渐老化不再脱皮,剥除的叶痕逐渐长平,顶芽长圆。经过愈伤后,选择无病虫,无霜害,整齐、健壮无机械损伤的姜块进入中长期贮藏。采收时姜块表皮的损伤也会引起姜块腐烂,所以采后可在高温下完成愈伤过程^[23]。纤维腐霉(Pythium gracile)是最早报道^[24]的导致印度生姜软腐的病原菌。目前,已有 15 种腐霉属微生物^[25]被鉴定为生姜腐败的主要病原体。

用于贮藏的姜应进行严格挑选,选择大小整齐、质量好、无病害的健壮姜块进行贮藏。姜喜温暖湿润,鲜姜在低温条件贮藏,可抑制鲜姜生理活动,减少营养成分损失,延缓鲜姜衰老。但同时鲜姜对低温比较敏感,容易发生低温胁迫伤害而造成品质劣变,冷害临界温度为 10 °C^[26],受冷害的姜块迅速皱缩并从表皮向外渗水,升温后很快腐烂。此外,贮藏过程中姜块脱皮、皱缩变软、表皮发紫和发芽都会导致品质下降^[23]。多项研究表明,姜的适宜贮藏温度为 12~15 °C,环境湿度为 90% 左右^[27-29]。但是较高的温湿度环境会导致鲜姜贮藏过程中呼吸等代谢生理活性提高,同时失水严重,其品质劣变加速,因此亟待开发合理的保鲜手段以维持鲜姜的采后品质并延长其有效货架期。

3 鲜姜贮藏保鲜技术

现在,我国生姜保鲜还处于起步阶段,目前普遍采用的方法有传统的埋藏法、窖藏法和冷藏法等。近年来,由于需求及出口量增加,对姜的贮藏质量也有了更高要求,冷风库贮藏鲜姜量在不断增加,应用气调、辐照等保鲜技术在生姜贮藏上也开始有少量

报道。

3.1 埋藏法

姜属地下茎类蔬菜,在泥土和泥沙埋藏的环境中贮藏比较适宜。埋藏法可分为土埋法和沙埋法^[30-31]。在气温和地下水位较高的地方,土埋法贮藏埋藏坑的深度以不见水为原则,以上宽下窄的埋藏坑为宜,深约1 m、直径2 m左右,坑的中间细竹竿捆成的直径约10 cm的通风筒,便于通风和测温。姜摆好后,表面先覆盖一层姜叶,再盖一层土,以后随气温下降分次盖土,盖土总厚度为55~60 cm。坑顶用稻草或秸秆做成圆尖顶防雨,四周设排水沟,北方设风障以防寒。入坑初期要注意通风散热,坑内温度控制在20℃左右。贮藏中期,姜堆逐渐下沉,要及时填土覆盖裂缝。贮藏期间要经常检查姜块有无变化,坑底不能积水。

沙藏法是在仓库、地下室或空房子中挖一上宽下窄的方形或圆形埋藏坑,用石头或砖头砌成深约80~100 cm,宽约100~200 cm,长度可根据贮藏场所的大小及贮藏量而定。坑挖好后先在坑底铺一层厚约5 cm的湿沙(含水量在10%左右),挑选质量上乘、且经过愈伤后的姜块放入坑内(如果在坑内愈伤,在开始的6~7周内,温度可上升到25~30℃),一层姜(约5块厚)一层湿沙,每隔50 cm放一个通风筒,堆至离坑口约5 cm时,直接用湿沙覆盖,不要使姜暴露于空气中,贮藏温度维持在12~15℃。冬季温度过低时,上面可适当覆盖草帘,以防发生冷害。

陈丙銮等^[32]研究了沙藏鲜姜贮藏过程中精油、姜辣素和姜烯酚含量的变化情况。结果表明,新鲜姜块在产地采用沙藏法存放20 d对所制的干姜质量无显著影响。但是,埋藏法必须对选坑的某个部位作为抽样检查口,根据抽样结果决定是否翻堆,若抽样结果不好,则必须翻堆,挑选出好姜继续存放,病姜须立即出售。翻堆频繁易造成姜表皮受损,导致腐烂。

3.2 窖藏法

窖藏法是目前使用较普遍的一种贮藏方法^[33-35],比埋藏法贮量可稍大一些。目前常用的贮藏窖有棚窖、井窖、土窖洞、地下防空洞等。可以采取窖内散堆、地面架床堆放、装筐码垛等形式。贮藏窖应选择向阳避风、地势高燥、地下水位低、冬季气温较低且排水良好的地方。姜窖一般深2.5~3.0 m,自窖底向两侧挖两个贮藏室,每个高约1.5 m,长宽各1.5 m左右,贮量约1000 kg。姜窖建好后,应对窖内进行彻底的除湿和消毒,窖内可放入生石灰,也可采用杀菌剂进行熏蒸消毒杀菌。在窖内离地面3 cm处用木条或竹竿架设姜床,可在床上放一些稻草。收获后鲜姜去掉泥土,在室温下晾3~5 d,待表皮失去一部分水分后将生姜分层堆放在姜床上,其上覆盖潮湿、洁净的河沙15~30 cm,这样既可防止窖内水汽凝结成水珠滴在姜上,又能防止空气干燥而使姜失水干缩。姜堆不可太高太宽,如有条件可将姜床做成上下两层,堆内每隔50 cm放置通风装置。入贮初期,姜块呼吸旺盛,产生热量较多,窖内容积小,积热易升温,

此时应及时通风换气,将多余热量散出,使其尽量稳定在12℃左右。冬季气温降低,应注意窖内保温,防止姜块遭受冷害。在贮藏过程中要经常检查,以防姜块发生异常变化。陈永强^[36]的研究表明,室温下生姜很容易发芽、干瘪或腐烂,生姜采用窖内砂贮藏保鲜远比室内砂贮藏保鲜效果好,窖内保鲜相对湿度控制在75%~95%之间(以85%~95%最佳)。

3.3 冷藏库贮藏保鲜

冷藏库由具有良好隔热保温效果的库房和制冷设备组成,二者结合可以不受外界气温的干扰和限制,保持较低且稳定的库温,为鲜姜贮藏保鲜提供理想的温度环境。采收的姜块经过挑选后入库,放在提前制作好的铁架上预冷24~48 h后,装入厚度为0.02~0.03 mm无毒聚氯乙烯(pvc)保鲜袋内,每袋容量不宜过大,一般在10~15 kg左右。装袋时需轻拿轻放,以免擦伤表皮,造成机械伤害,影响外观。装袋后整齐地摆放在架上,将袋口轻挽,以防水分蒸发。库温控制在12~13℃之间,一般可贮藏6个月以上,鲜姜表皮颜色基本不变。长期贮藏,鲜姜表皮易由黄色逐渐变成浅褐色而降低外观品质。贮藏库温不能低于12℃,否则易发生冷害。根据姜的品种和贮藏特性,还可将冷库进一步改进。申恩情等^[37]通过用微型节能冷库(简称微型库)藏法和自行设计的箱藏法进行罗平小黄姜(生姜)鲜姜贮藏研究,箱藏法姜的腐烂损率为1.73%而微型库藏法姜的腐烂损率为1.81%。Queiroz等^[38]利用辐照处理后,用石蜡和塑料包装生姜后贮藏在13℃的冷库中,整个贮藏期内失重很少。

3.4 保鲜技术

传统的生姜保鲜技术基本上都是通过控制环境温度湿度条件来达到良好保鲜效果,而在控制环境条件基础上,结合其他保鲜技术可以达到更好的保鲜效果。目前生姜的保鲜技术主要侧重衰老控制和微生物控制方面。

1-甲基环丙烯(1-MCP)是一种效果较显著的保鲜剂,能强烈竞争植物体内的乙烯受体、阻断内源乙烯的生理效应,延缓果实成熟衰老进程^[39],并可以减少低温胁迫对果蔬生理品质的影响^[40]。张曼等^[41]以鲜姜为试材,研究10℃的低温条件下1-MCP对鲜姜生理调控效果。采用不同剂量的1-MCP熏蒸处理鲜姜,对其生理指标变化的分析结果表明:0.5 μL/L的1-MCP处理效果显著,可有效抑制低温胁迫对鲜姜生理的影响,姜的多酚氧化酶活力、总酚、DPPH自由基清除能力和6-姜酚分别升高了0.35 U、5.45 mg/100 g、5.75%、0.97 mg/g;纤维素含量降低了0.261%,生理调控效果显著。鲜姜由于水分含量高,因此微生物容易生长繁殖。

Liu等^[13]通过18S rDNA鉴定结果认为引起鲜姜腐败的微生物主要是青霉属、镰刀菌属和被孢霉属的真菌。肉桂精油对这些真菌具有高度的抑制性,结合百里香可以抑制全部真菌的生长。因此建议肉桂精油熏蒸结合12℃的贮藏条件,可以进一步延长鲜姜的货架期。国外利用辐照技术控制生姜微生物

来延长鲜姜贮藏期的研究相对多些^[42-45]。早期使用的辐照剂量较低,Nwachukwu^[44]等人测试了尼日利亚的两个生姜品种对⁶⁰Co 伽马射线的敏感度,结果表明“Tafin Giwa”品种的敏感剂量为 5.0 Gy,“Yatsun Biri”品种的敏感剂量为 6.0 Gy。Mishra 等人^[45]利用伽马射线处理延长鲜姜货架期的研究表明,采用 5 kGy 辐照剂量处理鲜姜后于 10 °C 贮藏,可使鲜姜货架期由 40 d 延长至 70 d,且辐照处理后 6-姜酚和辣味物质含量无显著性差异。

4 结论与展望

目前,对生姜生物活性成分提取的研究较多,将生姜提取物作为天然保鲜剂应用于其他果蔬保鲜也有不少报道。但是生姜作为一种经常食用的香辛蔬菜,对其本身的保鲜研究并不多见。生姜低温高湿贮藏技术与保鲜剂、气调、臭氧等先进的保鲜手段联用,势必会进一步保障生姜的贮藏品质,有效延长生姜货架期。

参考文献

[1] 张卫明,肖正春.中国香辛料植物资源开发与利用[M].南京:东南大学出版社,2007:647-648.

[2] Jolad S D, Lantz R Clark, Chen Guan Jie, et al. Commercially processed dry ginger (*Zingiber officinale*): Composition and effects on LPS-stimulated PGE2 production[J]. *Phytochemistry*, 2005, 66(13): 1614-1635.

[3] 罗晓娟,程松,潘英妮,等.不同地区姜与姜皮的质量评价[J]. *中国调味品*, 2014, 39(8): 35-37.

[4] Masuda Y, Kikuzaki H, Hisamoto M, et al. Antioxidant properties of gingerol related compounds from ginger [J]. *BioFactors*, 2004, 21(1-4): 293-296.

[5] Ahui M L B, Konan A B, Zannou - Tchoko V J, et al. Identification of Gingerols in Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) by High Performance Liquid Chromatography - Tandem Mass Spectrometry and Pharmacologic Studies of its Aqueous Extract on the Rabbit Isolated Duodenum Contractility [J]. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 2013, 3(2): 16-26.

[6] Huang T C, Chung C C, Wang H Y, et al. Formation of 6-Shogaol of Ginger Oil Under Different Drying Conditions [J]. *Drying Technology*, 2011, 29(16): 1884-1889.

[7] Zhang G, Nitteranon V, Chan L Y, et al. Glutathione conjugation attenuates biological activities of 6-dehydroshogaol from ginger [J]. *Food Chemistry*, 2013, 140(1-2): 1-8.

[8] Bhagavathula N, Warner R L, Dasilva Marissa, et al. A combination of curcumin and ginger extract improves abrasion wound healing in corticosteroid-impaired hairless rat skin [J]. *Wound Repair and Regeneration*, 2009, 17(3): 360-366.

[9] Nafi A, Ling F H, Bakar J, et al. Partial Characterization of an Enzymatic Extract from Bentong Ginger (*Zingiber officinale* var. Bentong) [J]. *Molecules*, 2014, 19(8): 12336-12348.

[10] Zancan K C, Marques M O M, Petenate Ademir J., et al. Extraction of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) oleoresin with CO₂ and co-solvents: a study of the antioxidant action of the extracts [J]. *The Journal of Supercritical Fluids*, 2002, 24(1): 57-76.

[11] Shukla Y, Singh M. Cancer preventive properties of ginger: A brief review [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2007, 45(5): 683-690.

[12] Chan E W C, Lim Y Y, Wong S K, et al. Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species [J]. *Food Chemistry*, 2009, 113(1): 166-172.

[13] Liu J, Sui G, He Y, et al. Prolonging Storage Time of Baby Ginger by Using a Sand-Based Storage Medium and Essential Oil Treatment [J]. *Journal of Food Science*, 2014, 79(4): M593-M599.

[14] 战琨友,尹洪宗,张显忠,等.老姜与鲜姜超临界提取物的化学成分分析[J]. *食品科学*, 2009, 30(7): 33-35.

[15] 黄雪松,陈雅雪. GC-MS 法比较鲜姜与干姜的风味物质 [J]. *中国食品学报*, 2007, 7(5): 133-138.

[16] 林茂, 阙建全. 鲜姜和干姜精油成分的 GC-MS 研究 [J]. *食品科学*, 2008, 29(1): 283-285.

[17] Hawlader M N A, Perera C O, Tian M. Comparison of the retention of 6-gingerol in drying of ginger under modified atmosphere heat pump drying and other drying methods [J]. *Drying Technology*, 2006, 24(1): 51-56.

[18] Chumroenphat T, Khanprom I, Butkhup L. Stability of Phytochemicals and Antioxidant Properties in Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) Rhizome with Different Drying Methods [J]. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 2011, 17: 361-374.

[19] 蒋云福,罗玲,林朋,等.三种姜中微量元素的测定 [J]. *绵阳师范学院学报*, 2012, 31(2): 46-50.

[20] Prakash B, Singh P, Kedia A, et al. Efficacy of essential oil combination of curcuma longa L. and zingiber officinale Rosc. as a postharvest fungitoxicant, aflatoxin inhibitor and antioxidant agent [J]. *Journal of Food Safety*, 2012, 32(3): 279-288.

[21] Chang J S, Wang K C, Yeh C F, et al. Fresh ginger (*Zingiber officinale*) has anti-viral activity against human respiratory syncytial virus in human respiratory tract cell lines [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2013, 145(1): 146-151.

[22] Ahmed J. Rheological behaviour and colour changes of ginger paste during storage [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2004, 39(3): 325-330.

[23] 王素霞. 姜的贮藏保鲜技术 [J]. *新农村*, 2008, 10: 25.

[24] Butler E J. An account of the genus *Pythium* and some Chytridiaceae [M]: Thacker. 1907.

[25] Le D P, Smith M, Hudler G W, et al. *Pythium* soft rot of ginger: Detection and identification of the causal pathogens, and their control [J]. *Crop Protection*, 2014, 65: 153-167.

[26] Policegoudra R S, Aradhya S M. Biochemical changes and antioxidant activity of mango ginger (*Curcuma amada* Roxb) rhizomes during postharvest storage at different temperatures [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2007, 46(2): 189-194.

[27] Sakamura F. Changes in volatile constituents of *Zingiber officinale* rhizomes during storage and cultivation [J]. *Phytochemistry*, 1987, 26(8): 2207-2212.

[28] Variyar Prasad S, Gholap As, Sharma Arun. Changes in flavor components in γ -irradiated fresh ginger (*Zingiber*

- ribosomes[J].PNAS,2000,97(2):559-564.
- [27] Jung GY, Lee EY, Kim Y, et al. Stabilization Effect of Zeolite on DHFR mRNA in a Wheat Germ Cell-Free Protein Synthesis System[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2010, 89(2):193-195.
- [28] Gaasterland T. Structural genomics taking shape[J]. Trends in Genetics, 1998, 14(4):135.
- [29] 王大成. 后基因组时代中的结构生物学[J]. 生物化学与生物物理进展, 2000, 27(4):340-344.
- [30] Morita EH, Sawasaki T, Tanaka R, et al. A wheat germ cell-free system is a novel way to screen protein folding and function[J]. Protein Science, 2003, 12(6):1216-1221.
- [31] Noirot C, Habenstein B, Bousset L, et al. Wheat-germ cell-free production of prion proteins for solid-state NMR structural studies[J]. New Biotechnology, 2010, 28(3):232-238.
- [32] Kazuyuki T, Sawasaki T, Endo Y. The Wheat-Germ Cell-Free Expression System [J]. Current Pharmaceutical Biotechnology, 2010, 11(3):272-278.
- [33] Abe M, Ohno S, Yokogawa T, et al. Detection of structural changes in a cofactor binding protein by using a wheat germ cell-free protein synthesis system coupled with unnatural amino acid probing[J]. Proteins, 2007, 67(3):643-652.
- [34] Minakuchi C, Nakagawa Y, Soya Y, et al. Preparation of Functional Ecdysteroid Receptor Proteins (EcR and USP) Using a Wheat Germ Cell-Free Protein Synthesis System[J]. Journal of Pesticide Science, 2004, 29(3):189-194.
- [35] Kameda A, Morita E, Sakurai K, et al. NMR-based characterization of a refolding intermediate of beta2-microglobulin labeled using a wheat germ cell-free system[J]. Protein Science, 2009, 18(8):592-601.
- [36] Matsumoto K, Tomikawa C, Toyooka T, et al. Production of yeast tRNA (m super (7) G46) methyltransferase (Trm8-Trm82 complex) in a wheat germ cell-free translation system[J]. Journal of Biotechnology, 2007, 133(4):453-460.
- [37] Wilkins MR, Williams KL, Sanchez JC, et al. Progress Proteome Projects: Why all proteins expressed by a genome should be identified and how to do it [J]. Biotechnology & Genetic Engineering Reviews, 1996, 13(2):19-50.
- [38] 贺福初, 孙建中, 叶鑫生, 等. 蛋白质科学[M]. 北京: 军事医学科学出版社, 2002:1-74.
- [39] Yang JH, Kanter G, Voloshin A, et al. Rapid expression of vaccine proteins for B-cell lymphoma in a cell-free system[J]. Biotechnology and Bioengineering, 2005, 89(5):503-511.
- [40] Tsuboi T, Takeo S, Arumugam TU, et al. The wheat germ cell-free protein synthesis system: A key tool for novel malaria vaccine candidate discovery [J]. Acta Tropica, 2010, 114(3):171-176.
- [41] Shimizu M, Ikegami T, Akiyama K, et al. A Novel Way to Express Proline-Selectively Labeled Proteins with a Wheat Germ Cell-Free Protein Synthesis System[J]. Biochemistry, 2006, 140:453-456.
- [42] Saeki D, Sugiura S, Kanamori T, et al. Micro compartmentalized cell-free protein synthesis in semipermeable microcapsules composed of polyethylenimine-coated alginate[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2014, 118(2):199-204.
- (上接第378页)
- officinale) rhizomes during storage[J]. Journal of herbs, spices & medicinal plants, 2007, 12(1-2):25-35.
- [29] Alakali J, Irtwange S, Abu J. Effect of processing methods and storage environment on moisture adsorption characteristics of ginger (Zingiber Officinale) [J]. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development, 2009, 9(5):1245-1257.
- [30] 袁学军, 戴玉淑, 王海霞. 鲜姜贮藏技术[J]. 现代农业, 2000, (4):24.
- [31] 杨玉栋, 张俊强. 生姜贮藏技术[J]. 农村新技术, 2011, (2):66.
- [32] 陈丙奎, 郁建平. 加工及贮藏对干姜质量的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(3):369-370.
- [33] 肖远金. 姜的贮藏保鲜技术[J]. 现代农业, 2001, (9):29.
- [34] 秦继伟. 生姜贮藏技术[J]. 蔬菜, 2010, (3):23.
- [35] 严贤春, 郭正贤. 生姜贮藏技术[J]. 农牧产品开发, 2000, (3):18-19.
- [36] 陈永强. 鲜姜四季砂贮保鲜实验总结[J]. 安徽农学通报, 2008, 14, (23):109.
- [37] 申恩情, 社会祥, 张万坤, 等. 罗平小黄姜的贮藏保鲜新方法[J]. 中国蔬菜, 2008, (8):24-26.
- [38] Queiroz M A P, Neto J T, Arthur V, et al. Gamma radiation, cold and four different wrappings to preserve ginger rhizomes, Zingiber officinallis Roscoe[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2002, 63(3):341-343.
- [39] Massolo J F, Concellón A, Chaves A R, et al. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) delays senescence, maintains quality and reduces browning of non-climacteric eggplant (Solanum melongena L.) fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 59(1):10-15.
- [40] Huang S, Li T, Jiang G, et al. 1-Methylcyclopropene reduces chilling injury of harvested okra (Hibiscus esculentus L.) pods [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 141:42-46.
- [41] 张曼, 李喜宏, 李伟丽, 等. 1-MCP 对低温胁迫下鲜姜的生理调控效果[J]. 食品科学, 2012, 33(18):303-306.
- [42] Wu J J, Yang J S. Effects of gamma irradiation on the Volatile Compounds of ginger Rhizome (Zingiber officinale Roscoe) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1994, 42(11):2574-2577.
- [43] Variyar P S, Gholap A, Thomas P. Effect of γ -irradiation on the volatile oil constituents of fresh ginger (zingiber officinale) rhizome[J]. Food research international, 1997, 30(1):41-43.
- [44] Nwachukwu E, Ene L, Mbanaso E. Radiation Sensitivity of two Ginger Varieties (Zingiber officinale Rosc.) to Gamma Irradiation[J]. Der Tropenlandwirt-Journal of Agriculture in the Tropics and Subtropics, 1994, 95(1):99-103.
- [45] Mishra B B, Gautam S, Sharma A. Shelf-Life Extension of Fresh Ginger (Zingiberofficinale) by Gamma Irradiation [J]. Journal of Food Science, 2004, 69(9):274-279.