

邱 汉,吕恩利,段洁利,等. 适宜水稻种子贮藏环境参数的研究现状与分析[J]. 江苏农业科学,2016,44(11):15-18.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.11.004

适宜水稻种子贮藏环境参数的研究现状与分析

邱 汉¹,吕恩利^{1,2},段洁利^{2,3},黎智韬⁴,莫康华⁴,袁镇海⁴

(1. 华南农业大学工程学院,广东广州 510642; 2. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室,广东广州 510642;

3. 华南农业大学工程基础教学与训练中心,广东广州 510642; 4. 华南农业大学电子工程学院,广东广州 510642)

摘要:为掌握水稻种子贮藏环境参数对种子贮藏的影响,对国内外水稻种子适宜贮藏的环境参数进行综述,分析种子含水量、环境相对湿度、温度和气体成分对水稻种子贮藏的影响以及贮藏参数间的优先级关系。结果表明:对多数水稻品种而言,适宜水稻种子短期贮藏的含水量为 10%~12%,环境相对湿度为 60% 以下,温度为 15℃ 以下;适宜水稻种子长期贮藏的含水量为 3%~7%,温度为 5℃ 以下;水稻种子气调贮藏最佳参数:充二氧化碳气调中二氧化碳浓度为 35%~70%,氧气浓度为 5%~7%;充氮气调中氮气浓度为 95% 左右。综合分析可知,水稻种子贮藏参数中优先级的顺序为种子含水量>相对湿度>温度>气体浓度。

关键词:水稻;种子贮藏;含水量;相对湿度;温度;气调

中图分类号: S511.093 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)11-0015-04

水稻是世界上最重要的粮食作物之一,也是中国第一大农作物,在中国的粮食生产中具有十分突出的地位^[1]。水稻种子作为水稻科学的一部分,其质量的好坏直接影响农业生产的安全^[2]。水稻种子贮藏环境参数中的种子含水量、相对湿度、温度以及气体成分都会对水稻种子贮藏造成影响,适宜的贮藏环境参数有利于保持种子的活力,延长其寿命。前人对比适宜水稻种子贮藏的种子含水量、环境相对湿度、温度和气体成分进行了研究^[3-38]。本文对国内外水稻种子贮藏环境文献进行整理和分析,得出适宜水稻种子贮藏的参数,为设计智能化贮藏装备提供理论依据。

1 研究现状

目前水稻种子贮藏的目的主要分为 2 类:一是作为生产用种,用于来年的种植生产而进行短期贮藏;二是作为种质资源而进行长期贮藏^[3]。目前大部分农村地区采取的种子贮藏方法主要有库藏、露天屯藏和窖藏,此外还有草垛堆藏和分户贮藏等^[4]。种子站或者种子公司等通过控制种子含水量、环境相对湿度、贮藏温度及气体成分进行贮藏,采取的贮藏方法有低温贮藏、超干贮藏以及气调贮藏等。低温贮藏室通过控制水稻种子含水量、环境相对湿度和贮藏温度以达到保持种子生理活性的目的,目前对于种子含水量、环境相对湿度和温度的设定标准已基本达成一致^[5-6,39-42]。超干贮藏即通过降低种子含水量至传统下限值,并通过密封控制环境相对湿度,以达到能长期常温贮藏种子的目的,但对于含水量传统下限值还存在一定的争议,英国 Reading 大学的 Ellis 等对种子

含水量研究发现,种子含水量与贮藏寿命呈负对数相关,种子贮藏寿命会因含水量的下降而大大延长^[7-10,43]。朱诚等进一步发展了种子超干贮藏理论,认为种子含水量与贮藏温度对种子寿命的影响在一定范围内是彼此独立的,可以将低温种质库贮藏种子含水量 5% 的下限进一步降低^[11-12],胡群文等在试验中验证了部分水稻种子的含水率下限低至 3%^[13]。气调贮藏主要分为二氧化碳气调与充氮气调,主要通过改变原有气体比例,形成低氧、高二氧化碳或氮气的贮藏环境,以达到减少种子呼吸和虫害的效果,现已界定气调中氮气浓度 98% 以上、二氧化碳浓度 35%~70%、氧气浓度 8% 以下,相应技术开始进入商业应用的推广阶段,应用前景宽广^[14-22]。

2 贮藏环境参数分析

2.1 种子含水量

在贮藏期间,如种子水分含量过高,会造成种子呼吸旺盛,产生大量的热能,引起种子堆发热,消耗过多氧气,造成种子缺氧呼吸而产生大量乙醇,抑制和毒害了种胚细胞生理机能,乃至使种子丧失生活力,影响种子贮藏的安全。

2.1.1 短期贮藏 由于生产用种用于来年或接下来几年的种植生产,因此须对水稻种子进行短期贮藏。目前大部分研究种子含水量进行短期贮藏所得出的含水量界值相差不大。袁双孝认为种子含水量高,则种子内部的生理活动性强,微生物繁殖和仓虫孳生速度快,因此无论是常温库还是低温库,入库的种子水分须严格控制在 13% 以内^[42]。姜龙等在研究北方粳稻种子时发现,当种子含水量降到 12% 以下时,虽经高温季节,仍能安全越冬,保持较高的发芽率^[5]。刘海琳也认为种子越冬贮藏水分低于 12% 时,在对进库种子进行清选后可不作翻晒处理^[40]。段永红等在自然环境下隔绝空气对水稻种子进行试验发现:含水量 14%~16% 的 V77、V46 等品种贮藏半年左右发芽率降幅超过 50%,丧失种用价值,而含水量保持在 10%~12% 的各品种种子发芽率极显著高于含水量大于 13% 的品种^[39]。吴怡开等对段永红等的试验进一步

收稿日期:2015-11-19

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划(编号:2015BAD18B0301)。

作者简介:邱 汉(1989—),男,广东茂名,硕士研究生,研究方向为农产品产后加工与处理。Email:513001526@qq.com。

通信作者:段洁利,博士,副教授,研究方向为农产品产后处理技术研究。E-mail:duanjieli@scau.edu.cn。

验证,经过降低并保持含水量在 11.3% ~ 11.5% 的水稻种子,在常温除湿库中可存放 4 年之久^[41]。Ellis 等也验证了种子在含水量为 10% ~ 11% 下达到平衡时为最适含水量,它适合种子在室温下贮藏,而且它不随贮藏温度(至少在 18.33 ~ 1.67 °C 范围内)的降低而增加^[7-10,43]。在其他涉及水稻种子短期贮藏参数试验中,大部分文献也都采用 10% ~ 12% 作为含水量参数。因此,对于水稻种子短期贮藏而言,较适宜的含水量范围应为 10% ~ 12%。

2.1.2 长期贮藏(超干贮藏) 种子超干贮藏是 20 世纪 80 年代末期种质保存方面兴起的研究热点,旨在探索将种子含水量降低到传统下限以下的适当干燥技术,以达到常温条件下密闭贮藏、长期保存种质资源的目的。近年来,国内外对室温下以超干贮存方式长期保存种质资源的研究已取得了初步进展^[23-24]。张玉兰等采用室温硅胶干燥法脱水处理幸实和桂早 2 号,得到不同含水量的种子,用铝箔袋密封后分别于 -20 °C 和室温(25 °C)下贮藏 5 年,得出在室温和 -20 °C 贮藏条件下,贮藏的最适含水量:幸实 5.9% ~ 7.5%,桂早 2 号 5.8% ~ 7.7%^[25]。覃初贤等在研究野生稻种子时发现随着水分降低,野生稻种子寿命延长,且含水量 7.50%、6.60% 和 6.35% 的种子经 24 年种质库贮藏后发芽率仍达 97% 以上^[26]。Zhi 等对水稻种子进行超干燥贮藏研究发现,不同类型的种子耐干性不同,当籼稻种子含水量降到 4% ~ 5% 时,种子生活力稍有降低,但当含水量降到 2% 时,生活力和活力急剧下降^[27]。胡伟民等进一步发展了种子超干贮藏理论,可以将低温种质库贮藏种子含水量 5% 的下限进一步降低^[28]。Ellis 等认为,籼稻、粳稻的最适含水量分别为 4.3%、4.4%^[7-10,43]。胡群文等在做水稻种子不通风候区室温贮藏适宜含水量试验时得出,粳稻幸实水分干燥下限为 3.5%,籼稻桂朝 2 号为 3.0%^[13,29]。朱诚等在研究不同水稻品种种子耐超干性差异^[11]、胡承莲等研究超干燥水稻种子贮藏^[31]、胡伟民等研究超干长期贮藏对不同类型水稻种子影响^[28]时得出的干燥下限均与胡群文等保持一致^[29]。因此,结合前人的经验,对于水稻种子作为种质资源而进行长期贮藏而言,较适宜的含水量应为 3% ~ 7%。

2.2 环境相对湿度

种子含水量受到环境中相对湿度的影响,通过控制贮藏环境的相对湿度,可延长种子贮藏的寿命。中山大学生物系的黄上志等将杂交水稻种子在 32 °C 和不同环境相对湿度下贮藏 1 个月后,得出当环境相对湿度超过 60% 时,汕优 2 号等水稻发芽率和发芽指数下降明显^[32]。黄上志等深入研究相对湿度与种子含水量之间的关系,对结果进行直线回归分析得出:

$$y = 5.656 + 0.110x。$$

式中: y 为种子含水量,%; x 为环境相对湿度, %^[32]。

根据上文中最适种子含水量为 10% ~ 12%,通过回归方程得出最适相对湿度亦为 60% 以下,与黄上志等试验结果相符^[32]。另外,吴永铭使用杂优种子试验时得出夏季 6—9 月高温高湿环境下,种子库中温度应保持在 13 ~ 15 °C,相对湿度应保持在 55% ~ 60% 之间^[33]。吴贻开等认为,贮藏真菌不能在相对湿度低于 65% 和种子含水量低于 12% 的条件下生长和危害,从侧面说明水稻贮藏的相对湿度须低于 65%^[41]。对于相对湿度界限的问题,结果因试验而异,但是界限值相差

不大,李小彬认为相对湿度应保持在 60% 以下^[34],而王静等则认为相对湿度应控制在 65% 以下^[6,42]。综合分析认为,适宜水稻种子贮藏的环境相对湿度以 60% 以下为宜。

2.3 温度

稻种是生命体,在贮藏过程中要进行新陈代谢,消耗营养物质的主要表现为呼吸作用,而贮藏温度越高,稻种呼吸作用越强,同时也会招致细菌、霉菌的繁殖和寄生,导致种子胚部细胞组织遭受破坏而丧失发芽能力。

2.3.1 短期贮藏(低温贮藏) 由于水稻种子作为接下来几年生产用种须进行短期贮藏,在贮藏过程中易受呼吸作用影响,须控制水稻种子库内温度,减少呼吸和种内物质消耗,以达到国家规定的种子发芽率。对于种子贮藏温度,目前大部分研究所得出的数值虽存在差异,但是大致落在一定的区间。侯文平等选用含水量在 14% 左右的种子做 2 年的低温(冰箱 5 °C 恒温)和常温(室内库房)试验,证明低温贮存的水种子水分比常温损失少,发芽率比常温高^[35]。包清彬等利用科希黑卡力种子在不同区域进行试验发现,在 5 °C 时,所选的所有试验区域的发芽率都没有下降^[36]。王静等认为利用恒温恒湿库对杂交水稻进行贮藏,库内温度应控制在 5 ~ 10 °C 的恒温条件下^[6]。袁双孝认为在春末到夏初这段时间,最易造成种子败坏变质,这时采用低温保存效果最好,因水稻大田用种较多,一般控制在 15 °C 即可^[42]。李德洙等认为,地下种仓和低温仓用于种子贮藏的建造标准一般要求温度不超过 15 °C^[37]。李小彬用协优 3550、特优 63 水稻种子做贮藏试验时发现,以机械降温法使贮藏温度保持在 8 ~ 15 °C 时可有效延长种子使用年限,维持发芽率^[34]。综合以上分析可知,在综合耗能的前提下,对于不同类型的水稻种子短期贮藏的较适宜温度应为 15 °C 以下。

2.3.2 长期贮藏(超低温贮藏) Harrington 等曾推测:水稻种子贮藏温度每降低 5 °C,寿命会延长 2 倍^[38]。缪丽霞等利用冰箱冰冻室(-18 °C)、种子库(13 °C)及贮藏柜(常温)对淮稻 10、镇稻 11、淮稻 9、淮稻 13 进行试验时发现,均表现为冰箱冷冻室贮藏最好,种子库次之,贮藏柜最差,且温度越低越能有效减轻种子发芽力的下降^[44],这与覃初贤等的研究结果^[26]一致。姜龙等也认为低温干燥的贮藏环境有益于种子的贮藏,延长种子的贮藏寿命,温度在 1 ~ 3 °C 时估计可保存 20 ~ 25 年;温度保持 -1 °C、相对湿度为 30% 的条件下可保存 160 年;温度达到 -10 °C、相对湿度为 30% 可保存 700 年^[5]。华国栋等利用含水量为 14.5% 的连梗 7 号水稻种子在 25、5 °C 下贮存 180 d 发现,25 °C 下的水稻种子发芽率为 89% (下降 9.2%),而 5 °C 下的发芽率为 96.6% (下降 0.7%),表明对于种质资源需要长期贮藏的,贮藏温度应控制在 5 °C 以下^[3]。卢新雄等研究也认为,种子作为种质资源长期贮藏时温度应控制在 5 °C 以下^[45]。综合以上分析可知,需要作为种质资源进行长期贮存的温度应在 5 °C 以下,在综合考虑种子库建造成本及运营成本等条件下,应尽量降低温度。

2.4 气体成分

气调储存种子是通过改变气体成分的组成,造成不利于害虫及霉菌生长发育的生态环境,从而抑制种子呼吸,实现杀虫抑菌、延缓种子品质变化的方法。

2.4.1 二氧化碳气调 二氧化碳气调是利用增加 CO₂ 的浓

度使害虫窒息和减少种子呼吸而达到贮藏目的,但需要维持一定的 O_2 浓度才能更好地保持种子的活力。Kondo 等研究认为,用 CO_2 等惰性气体保存水稻种子能够较好地保持其发芽活性^[46]。包清彬等利用不同湿度的科希黑卡力种子充入 CO_2 在不同温度下进行试验,结果发现在含水量为 15% 以上和温度在 30 ℃ 以上时,注入 CO_2 气调效果明显,但是其他情况均无太大差异^[36]。以上研究表明,二氧化碳气调对于水稻种子贮藏是有作用的,但是需要在一定的条件下,试验人员在做验证过程中对于二氧化碳和氧气的适宜浓度存在一定的分歧。孔晓玲等通过调节 CO_2 和 O_2 浓度、温度及时间因素进行试验,得出最佳杀虫参数为温度(25 ± 2) ℃, CO_2 气体浓度 35% 左右, O_2 浓度 5% ~ 7%, 杀虫时间持续 120 h^[14]。杨昭等也通过试验证明:仓内 CO_2 浓度维持 35% 以上的时间超过 15 d,可有效杀死害虫^[15]。刘作伟等通过设置 35% ~ 70% 的 CO_2 浓度验证试验,发现 CO_2 对高大平房处理 15 d 可有效杀死储粮的成虫、卵、蛹及幼虫,死亡率达 100%, 浓度越高,杀虫所需时间越短^[16]。澳大利亚的 Bailey 提出当 CO_2 浓度达到 60% 时,可造成大部分储粮害虫死亡^[47]。Jay 等也提出当 CO_2 浓度达到 60% 时,经 48 h 就能杀死大部分害虫及其子代^[48]。张云宝等通过不同浓度二氧化碳检测杀虫效果,得出 CO_2 气体浓度为 60% 左右、 O_2 浓度为 8.4% 以下时,可有效杀死水稻种子中存在的玉米象^[49]。以上研究对二氧化碳浓度和氧气浓度界定值存在一定的差异,但是结合其他人员的研究,大致可确定 CO_2 适宜浓度为 35% ~ 70%, 因较少文献涉及到氧气浓度,在所查到的文献中,普遍以 5% ~ 7% 的氧气浓度作为最适合贮藏浓度。

2.4.2 充氮气调 充氮气调储存水稻种子是通过增加氮气浓度,极大地减少氧气浓度而使害虫窒息和减少种子呼吸而达到贮藏目的。高温条件下种子呼吸较强,消耗种内营养物质较多,而导致发芽率降低。采用气调贮藏有利有弊,一方面可抑制害虫和种子呼吸,减少能量消耗和虫害,另一方面高浓度氮气会使种子窒息,降低发芽率。许存德研究发现,氮气浓度 95.5% 以上保持 16 ~ 20 d 时仓内害虫先后全部死亡^[50]。但黄祖亮等研究发现,氮气浓度只有达到 98% 以上时,才能灭杀害虫,低于 98% 时,能有效抑制害虫^[51]。严晓平等研究也表明,采用 98% ~ 100% 的氮气浓度进行贮藏,可在 20 d 内全部杀死成虫、卵、蛹及幼虫^[17]。李岩峰等通过充入 98% 氮气试验发现,随着时间的延长和贮藏温度的升高,充氮气调的稻谷发芽率都在降低,但是降低幅度比常规贮藏低,35 ℃ 时充氮气调下降 16.2%^[18]。李颖等通过通入 98% 的氮气对种子进行气调,发现稻谷发芽率显著降低,上层降幅达到 5%, 中下层降幅 3% ~ 5%, 中下层降幅比上层略低些^[19]。河南工业大学做氮气模拟贮藏试验时也发现,35 ℃ 下稻谷的发芽率从 98% 降为 78%, 而在 20 ℃ 下的发芽率从 98.0% 降为 95.8%。张来林等研究指出,当贮藏温度较低时,常规贮藏和气调贮藏稻谷的各项检测指标较为接近,而高温贮藏时,气调贮藏稻谷的各项检测指标均好于常规贮藏^[20-21]。金文等研究也表明,高温会严重损伤粮食籽粒的发芽能力,不利于保持种子的发芽率,但气调贮藏会减少对发芽率的影响^[22]。综合以上分析可知,种子库选择贮藏条件时,应首先控制种子含水

量和温度,充氮气调可实行分浓度控制,杀虫时可控制氮气浓度在 98% 左右,贮藏时可控制氮气浓度在 90% ~ 95%, 防虫时期可以控制在 95% 左右。

2.5 贮藏参数优先级

水稻种子贮藏涉及环境参数,关于水稻种子水分含量、相对湿度、贮藏温度及气体条件对其发芽活性综合影响的报道并不多见,多数都是两两进行比较。周军等考察种子质量最重要的指标为种子发芽率,而影响种子发芽率最重要的因素为贮存温度和含水量^[52],这与段永红等研究结果保持一致^[39]。华国栋等在做温度与水分联合作用对连梗 7 号水稻种子发芽率影响试验时,发现含水量和贮存温度均显著地影响种子的发芽率,且二者对种子发芽的变化具有显著的协同作用^[3]。姜龙等研究表明,在诸多因素中,水分是影响北方梗稻种子贮藏安全性的关键因素^[5]。陈南凯的研究也表明,种子含水量的高低,往往是影响发芽率的主导因素^[4]。刘海琳认为种子水分含量较低,温度变化幅度稍大对种子贮藏影响不大,但是水分含量过高,则必须在适当低温下贮藏,说明种子含水量极为重要,温度次之^[40]。袁双孝在对杂交水稻研究过程中,发现含水量是影响种子安全贮藏的关键因素,仓库温度是仅次于含水量影响种子贮藏的另一项重要因素^[42]。环境相对湿度通过影响种子的含水量来影响种子的贮藏寿命。综合以上分析可知,水稻种子贮藏参数中优先级的顺序为种子含水量 > 环境相对湿度 > 温度 > 气体浓度。

3 结语

通过查阅国内外相关文献,整理水稻种子贮藏参数相关内容,得出适宜水稻种子贮藏的参数,为设计智能化贮藏装备提供理论依据。

作为生产用种用于来年或接下来几年的种植生产而进行短期贮藏的种子含水量应控制在 10% ~ 12%, 温度应控制在 15 ℃ 以下。农村经过种子翻晒后,可进行窖藏或密闭贮藏;种子公司和种子站等机构可在烘干后进行低温贮藏。

作为种质资源进行长期贮藏可采用超干贮藏、超低温贮藏和气调贮藏的方式,适宜水稻种子超干贮藏的含水量为 3% ~ 7%, 适合种子超低温贮藏温度为 5 ℃ 以下,在考虑建造成本和运营成本条件下应尽量降低温度。种子气调贮藏可分为二氧化碳和氮气的调贮藏,种子库选择贮藏条件时,应尽量控制种子含水量和温度,也可通过充入浓度为 35% ~ 70% 的二氧化碳或浓度为 90% ~ 98% 的氮气来控制。

水稻种子贮藏参数中优先级的顺序为种子含水量 > 环境相对湿度 > 温度 > 气体浓度。

参考文献:

- [1] Peng S, Tang Q, Zou Y. Current status and challenges of rice production in China[J]. Plant Production Science, 2009, 12(1): 3-8.
- [2] Krishnan P, Surya Rao A V. Effects of geno type and environment on seed yield and quality of rice [J]. The Journal of Agricultural Science, 2005, 143(4): 283-292.
- [3] 华国栋, 李冠喜, 孟德龙, 等. 温度与水分联合作用对“连梗 7 号”水稻种子发芽率的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(33): 60-64.
- [4] 陈南凯. 水稻种子贮藏方法的研究[J]. 吉林农业科学, 1960(5):

- 15-21.
- [5]姜 龙,柴永山,曲金玲,等. 北方粳稻种子加工与贮藏技术[J]. 中国种业,2014(12):32-34.
- [6]王 静,冯仁义. 浅谈杂交水稻种子越冬贮藏技术[J]. 四川农业与农机,2012(6):42-43
- [7]Ellis R H,Hong T D,Roberts E H. A comparison of the low moisture - content limit to the logarithmic relation between seed moisture and longevity in twelve species[J]. Ann Bot,1989,63(6):601-611.
- [8]Ellis R H,Hong T D,Roberts E H. Low moisture content limits to relations between seed, longevity and moisture[J]. Ann Bot,1990,65(5):493-504.
- [9]Ellis R H,Hong T D,Roberts E H. The low - moisture content limit to the negative logarithmic relation between longevity and moisture content in three subspecies of rice[J]. Ann Bot,1992,69(1):53-68.
- [10]Ellis R H,Hong T D. Temperature sensitivity of the low - moisture - content limit to negative seed longevity - moisture content relationships in hermetic storage[J]. Ann Bot,2006,97(5):785-791.
- [11]朱 诚,刘 信,曾广文,等. 不同水稻品种种子耐超干性差异及其热稳定蛋白的研究[J]. 中国水稻科学,2001,15(4):287-290.
- [12]程红焱,宋松泉,朱 诚,等. 超干种子贮藏性的细胞学及生理生化基础[J]. 云南植物研究,2005,27(1):11-18.
- [13]胡群文,辛 霞,陈晓玲,等. 水稻种子室温贮藏的适宜含水量及其生理基础[J]. 作物学报,2012,38(9):1665-1671.
- [14]孔晓玲,张肇鲲,蒋德云,等. 二氧化碳气调防治储粮害虫的可行性研究[C]. 全国农产品加工、食品和包装工程学术研讨会论文集·福建,2005.
- [15]杨 昭,王双林,饶明泉,等. 二氧化碳气调储粮的实仓试验研究[J]. 粮食贮藏,2006,35(2):20-23.
- [16]刘作伟,郭道林,严晓平,等. 二氧化碳气调贮藏防治储粮害虫的研究[J]. 粮食贮藏,2004,(2):10-14.
- [17]严晓平,宋永成,王 强,等. 一定条件下96%以上氮气控制主要储粮害虫试验[J]. 粮食贮藏,2010(1):3-5.
- [18]李岩峰,肖建文,张来林,等. 充氮气调对稻谷品质的影响研究[J]. 粮食加工,2010,35(1):46-48.
- [19]李 颖,陈超胜,李岩峰. 实仓充氮气调稻谷品质变化研究[J]. 粮油仓储科技通讯,2014,30(4):44-47.
- [20]张来林,桑青波,张国民,等. 充氮气调对稻谷、大豆品质的影响研究[J]. 粮食科技与经济,2011,36(2):21-23.
- [21]张来林,李 岩,陈 娟,等. 不同贮藏温度及贮藏方法对稻谷品质的影响[J]. 粮食与饲料工业,2011(7):17-19.
- [22]金 文,肖建文,张来林,等. 充氮气调对大豆品质的影响研究[J]. 河南工业大学学报,2010,31(1):71-73,79.
- [23]Zheng G H,Jing X M,Tao K L. Ultra dry seed storage cuts cost of gene bank[J]. Nature,1998,393:223-224.
- [24]孙爱清,高荣岐,尹燕桦. 种子超干贮藏研究进展[J]. 山东农业大学学报:自然科学版,2000,31(3):325-329.
- [25]张玉兰,汪晓锋,景新明,等. 水稻种子含水量及其对贮藏寿命的影响[J]. 中国农业科学,2005,38(7):1480-1486.
- [26]覃初贤,望飞勇. 不同含水量野生稻种子库存24年后活力研究[J]. 南方农业学报 2011,42(8):878-881.
- [27]支巨振,毕辛华. 超低水分贮存对水稻种子生活力及生理特性的影响[J]. 种子,1991(4):19-23.
- [28]胡伟民,胡 晋,宋文坚,等. 超干长期贮藏对不同类型水稻种子生活力和活力的影响[J]. 中国水稻科学,2003,17(4):379-382.
- [29]胡群文,卢新雄,辛萍萍,等. 水稻种子在不同气候区室温贮藏的适宜含水量及存活特性[J]. 中国水稻科学,2009,23(6):621-627.
- [30]吴晓亮,辛萍萍,张志娥,等. 水稻种子室温贮藏最适含水量及其热稳定蛋白的研究[J]. 中国农业科学,2006,39(11):2214-2219.
- [31]胡承莲,胡小柒,辛萍萍. 超干燥水稻种子贮藏研究[J]. 种子,1999(2):18-21.
- [32]黄上志,傅家瑞. 贮藏温度与相对湿度对杂交水稻种子耐藏性的影响[J]. 植物生理学通讯,1986(6):38-41.
- [33]吴永铭. 稻种在常温条件下贮藏技术研究[J]. 种子,1994,73(5):62-63.
- [34]李小彬. 杂交稻种子低温低湿贮藏技术及应用[J]. 吉林农业月刊,2014(2):34.
- [35]侯文平,王成媛,赵 磊,等. 贮存环境对水稻种子芽率及水分的影响[J]. 种子科学,2014,32(8):27-30.
- [36]包清彬,猪谷富雄. 贮藏条件对水稻种子发芽活性影响的研究[J]. 粮食贮藏,1997(4):30-34.
- [37]李德洙,孙新功. 谈种子贮藏技术要点[J]. 农民致富之友,2014(11):77.
- [38]Harrington J F,Heydecker W. Viability rule of thumb in seed ecology[J]. Butter worth,1973(4):251-263.
- [39]段永红,肖 燕,李小湘,等. 贮藏因素对水稻种子生活力的影响[J]. 湖南农业科学,2002(2):47-49.
- [40]刘海琳. 农作物种子贮藏方法[J]. 农民致富之友,2014(1):57.
- [41]吴怡开,陈文杰,李清华,等. 相对湿度对水稻种子贮藏寿命的影响[J]. 福建农业科技,2000(4):6-7.
- [42]袁双孝. 杂交水稻种子贮藏技术要点[J]. 种子科技,2009,27(9):37.
- [43]Ellis R H,Hong T D,Roberts E H. A low - moisture - content limit to logarithmic relations between seed moisture content and longevity[J]. Ann Bot,1988,61(4):405-408.
- [44]缪丽霞,夏斯飞,董学锁,等. 不同贮藏条件对水稻种子发芽力的影响[J]. 中国种业,2013(6):48-49.
- [45]卢新雄,陈晓玲. 水稻种子贮藏过程中生活力丧失特性及预警指标的研究[J]. 中国农业科学,2002,35(8):975-979.
- [46]Kondo M,Okamura T. On the influence of various temperature in duration of storage and various moisture of rice upon preservation of germination power of hulled rice[J]. Ber Ohara Inst,1930(4):315-341.
- [47]Bailey S W. Insect pests - IV *Rhyzopertha dominica* (F.) and some other Coleoptera that infest stored grain [J]. Journal of Stored Products Research,1965,1(1):25-33.
- [48]Jay E G,Pearman G C. Carbon dioxide for control of an insect infestation in stored corn [J]. Journal of Stored Products Research,1973,9(1):25-29.
- [49]张云宝,王 东. 不同浓度二氧化碳杀虫效果比较[J]. 吉林粮食高等专科学校学报,2002,17(1):14-18.
- [50]许存德. 一机两廋氮气防治储粮害虫技术在高大平房仓中的应用[J]. 粮油仓储科技通讯,2006(4):9-12.
- [51]黄祖亮,郑理芳,陈 疆,等. 氮气气调储粮效果与仓房气密性的关系研究[J]. 粮食储藏,2010(1):35-37.
- [52]周 军,周建明. 影响水稻种子发芽的主要因素及控制途径[J]. 安徽农业科学,2014,42(12):3520-3523.