

种子包衣以及不同机械药种比对 储藏小麦种子发芽率的影响

白丽¹ 刘凌云¹ 蒙新明¹ 王伟娇¹ 杨洪春² 孙君伟¹ 于森¹

(¹种芯(北京)科技有限公司,北京 102206; ²先正达(中国)投资有限公司,北京 102206)

摘要:包衣已经成为种子生产中尤为重要的一环,在小麦苗期病害防治以及增产、增收上起着重要作用。实际加工应用中如何用合适的机械药种比来进行加工,以及包衣后发芽率及活力表现随着储藏时间的延长如何变化还有待充分研究试验。以小麦品种合农 5290 为研究材料,以噻虫嗪、咯菌腈及苯醚甲环唑为有效成分对种子做包衣处理,并采用了 8 个不同的机械药种比及 2 种晾晒包装方式,持续进行了 1 年的标准发芽试验及低温发芽试验。研究表明,机械药种比会对种子相对含水量造成影响,且在不密闭包装的情况下,含水量也会随着环境变化而变化;在室温条件下储藏 1 年后,包衣处理的样品发芽率与未包衣处理无显著性差异,同时合适的机械药种比以及储藏方式更利于小麦发芽率及活力的保持,这些发现将对后续实际加工应用起到重要指导作用。

关键词:小麦种子;种子包衣;机械药种比;发芽测试

Effects of Seed Coating and Different Coating Proportion on Seed Germination of Stored Wheat

BAI Li¹, LIU Ling-yun¹, MENG Xin-ming¹, WANG Wei-jiao¹,

YANG Hong-chun², SUN Jun-wei¹, YU Miao¹

(¹Zhong Xin (Beijing) Technology Co., Ltd., Beijing 102206; ²Syngenta (China) Investment Co., Ltd., Beijing 102206)

小麦是一种在世界各地广泛种植的谷类作物,是人类的主食之一,有着无可替代的经济价值和食用价值。中国幅员辽阔,小麦栽培更是遍及全国,不同的地区生长环境千差万别,气候变化多样,作物面临的病虫害也不尽相同,人们对农作物的科学种植生产提出了更高的要求,而与生产息息相关的种子质量及其抵抗病虫害与逆境的能力也越来越成为大家关注的因素。

种子包衣就是应用在种子上集多种学科为一体的技术,在不改变种子性状的情况下将含有杀虫剂、杀菌剂、微肥、其他辅料等成分的种衣剂均匀包覆在种子表面^[1],有针对性地基于种子特性以及生长环境科学定制配方,以达到防治苗期病虫害,提升产量与商品价值的目的。种子包衣已经作为一项成熟的农作物栽培技术,多年来为农业增产与增收发

挥了重要作用,促进了农作物产量与品质的提升^[2],在小麦的叶锈病、白粉病^[3]、赤霉病^[4]以及多种地下害虫及小麦蚜虫的防治上均有正面报道^[5]。

种子活力在生理成熟时最高,之后逐渐下降,从收获到播种前要经过长短不同的贮藏期,适当的贮藏条件对于保存有价值的种子很重要,直接关系到种子的产量与质量^[6-8]。在包衣种子贮藏方面,不少研究表明在种子收获质量良好、含水量较低、贮藏条件适宜的条件下,不包衣贮藏更能延长种子寿命^[9],而包衣后的种子随着贮藏时间的延长,贮藏条件的不同以及基于原始种子活力的差异,对发芽率及活力表现在不同作物影响程度大小不一^[10-11]。

为了确保包衣种子能够更加安全贮藏,采用了不同的机械药种比对小麦进行了包衣处理,并通过采取不同的晾晒方式,了解种子含水量的变化,持续

地对小麦种子发芽率与活力进行了长达1年的监测,从而更加深入地了解其变化规律。这对实际生产实践中确定什么时节包衣、如何确保播种时小麦种子的高活力进行有效指导,同时为包衣种子安全贮藏期的确定提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 试验所用品种河农5290是半冬性中熟小麦品种,适宜在河北省中南部冬麦区中高水肥地块种植。包衣方案所用种衣剂有效成分为噻虫嗪、咯菌腈及苯醚甲环唑。

1.2 试验方法 试验于2020–2021年在先正达种子保护创新中心进行。每100kg种子所用种衣剂剂量为:77.3g噻虫嗪+7.5g咯菌腈+7.5g苯醚甲环唑。包衣处理时,设置不同的机械药种比,即混合药浆量与包衣种子量的比1/30、1/40、1/50、1/60、1/70、1/80、1/90、1/100来作为不同的处理方式,各处理所用种衣剂剂量相同,最终所用药浆量用水补齐。使用德国品牌批次式包衣机Willy Niklas GmbH Apparatebau W.N.5/01对种子进行处理,并采用了2种晾晒包装方式:其一为包衣后放入样品盒(22.5cm×22.5cm×20cm)置于通风橱常规晾晒,并于储藏前装入自封袋密闭保存;另外一种方式为包衣后立即放入农用编织袋(35cm×55cm)封口室温条件存放,每个处理3kg种子,加上未包衣对照共计18个处理。

试验期内,使用谷物水分测量仪对样品进行相对含水量测定,测定时间依次为包衣后、干燥1h、2h(编织袋包装样品未测)、24h、72h以及每次发芽试验前。样品室温储藏,并在储藏期间定期检测样品标准发芽率和低温发芽率,检测时间点依次为包衣后(T₀)、储藏1个月(T₁)、储藏3个月(T₃)、储藏6个月(T₆)、储藏9个月(T₉)及储藏1年(T₁₂)。

标准发芽率及低温发芽率检测均采用纸卷法,每个处理8个重复,每个重复50粒种子。其中标准发芽率检测方法及评估标准参考GB/T 5520—1985《粮食、油料检验种子发芽试验》;低温发芽率测试置于8℃培养箱14d,避光试验,该测试通过了解低温逆境下的发芽率表现来辅助了解种子活力。

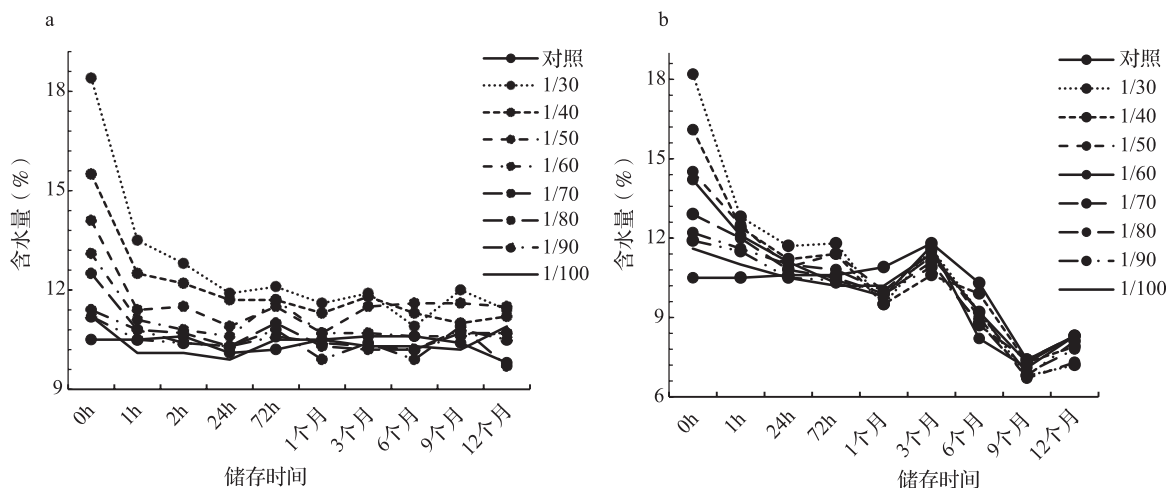
1.3 数据分析 数据采用Excel 2013和JMP软件进行统计和方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同机械药种比及包装方式对种子含水量变化的影响 通过持续对样品相对含水量进行检测发现,不同的机械药种比会对种子含水量产生影响,包衣后的样品之间含水量差异明显,最大可达7.2%(为1/30机械药种比与1/100之间的含水量差异)。但是无论晾晒与否,在3kg样本量前提下自然放置1d均能趋于稳定并降到仓储安全含水量13%以下。在整个储藏周期内,自封袋保存的样品含水量波动较小(图1a),编织袋保存的样品透气较好,受环境影响相对较大,出现了明显的波动(图1b)。编织袋保存样品在储藏3个月的时候,含水量出现回升,通过对环境湿度的监测发现,8月份的时候室内湿度达到72%,正是储藏到3个月的节点,即便如此,由于相对理想的储藏环境,即温度20~25℃,湿度18%~72%,含水量依然在安全含水量的范围内,而后11月份湿度降到32%,储藏6个月的样品含水量相应回落(图1b)。可见,编织袋保存能够与外界发生水分交换,种子含水量受环境影响较大,若储藏环境恶劣的情况下,采用该储藏方式有较大概率会对种子产生负面影响。

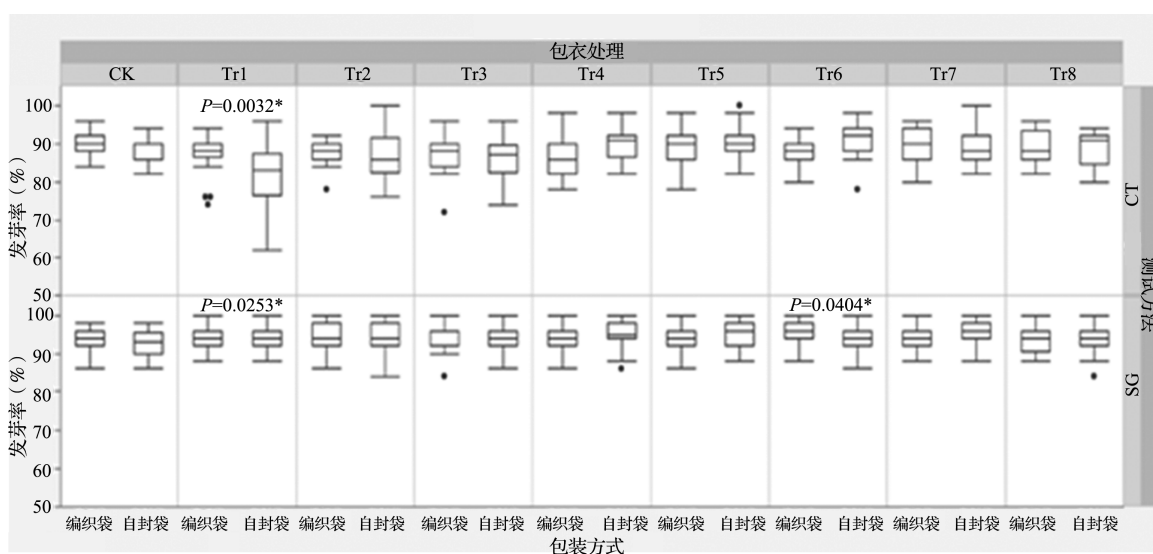
2.2 包装及晾晒方式对种子发芽的影响 在相同机械药种比及测试方法前提下,对包衣后种子进行充分干燥并自封袋打包处理和不做晾晒处理直接编织袋打包处理,并对2种处理方式的样品进行标准发芽率和低温发芽率检测及 t 检验分析(图2)。结果发现,机械药种比为1/30的样品标准发芽率在以上2种处理方式之间存在显著性差异($0.01 < P < 0.05$),低温发芽率存在极显著性差异($P < 0.01$),机械药种比为1/80的样品标准发芽率在以上2种处理方式间存在显著性差异($0.01 < P < 0.05$),而低温发芽率无差异(图3)。由此可见不同的晾晒处理方式对标准发芽率及低温发芽率会出现不同程度的影响,机械药种比最大的处理(1/30),标准发芽率及低温发芽率均差异显著,该处理下初始含水量最高,若不降到安全含水量水平即进行密闭保存则出现问题的概率更大。

2.3 不同处理对种子发芽的影响 对于包衣完毕直接编织袋打包的样品,在同一储藏期的前提下,比较不同机械药种比之间的标准发芽率及低温发芽率的差异(表1)。仅T₀时1/40、1/50、1/80和1/100



a: 晾干后自封袋保存样品含水量变化; b: 编织袋保存样品含水量变化

图1 包衣后2种不同保存方式下保存期间含水量变化



*代表不同保存方式间存在显著性差异;圆点表示离群值;Tr1~Tr8依次代表机械药种比1/30、1/40、1/50、1/60、1/70、1/80、1/90、1/100;
CT代表低温发芽率,SG代表标准发芽率

图2 不同晾晒处理方式之间的发芽率箱线图

机械药种比的样品标准发芽率显著优于对照,其他时期均无显著性差异。对于经过晾晒后放于自封袋保存的样品(表2),在储藏9个月,不同机械药种比之间标准发芽率出现不同程度的差异表现,而低温发芽率在9个月储藏的节点表现为:1/30机械药种比的样品要显著的差于1/60、1/70、1/90及1/100的样品,虽然与1/80相比未发现显著性差异,但是1/80药种比的样品在数值表现上高出1/30的样品达10个百分点;1年储藏节点,1/30机械药种比样品显著差于1/60、1/70、1/80、1/90及1/100的样品。由此表明,即便经过晾晒后样品都达到储藏安全含水量水平,密闭包装经过长达9个月储藏

后,机械药种比大、初始含水量高的样品存在风险的概率更大,而其他包衣处理与未包衣对照相比并无显著性差异。并且储藏1年时包衣加水量少的处理即1/60、1/70、1/80、1/90及1/100活力表现均高于未包衣对照(表2),说明低比例包衣对种子活力维持是有利的。

2.4 种子发芽率随着储藏时间延长的变化 通过持续1年对样品进行标准发芽测试,发现在实验室自然储藏条件下,无论是编织袋保存还是自封袋密闭保存标准发芽率随着时间延长普遍呈下降趋势(图3),但是均在国标水平(85%)以上,个别处理即便出现显著差异,发芽率仍能够保持较高水平90%

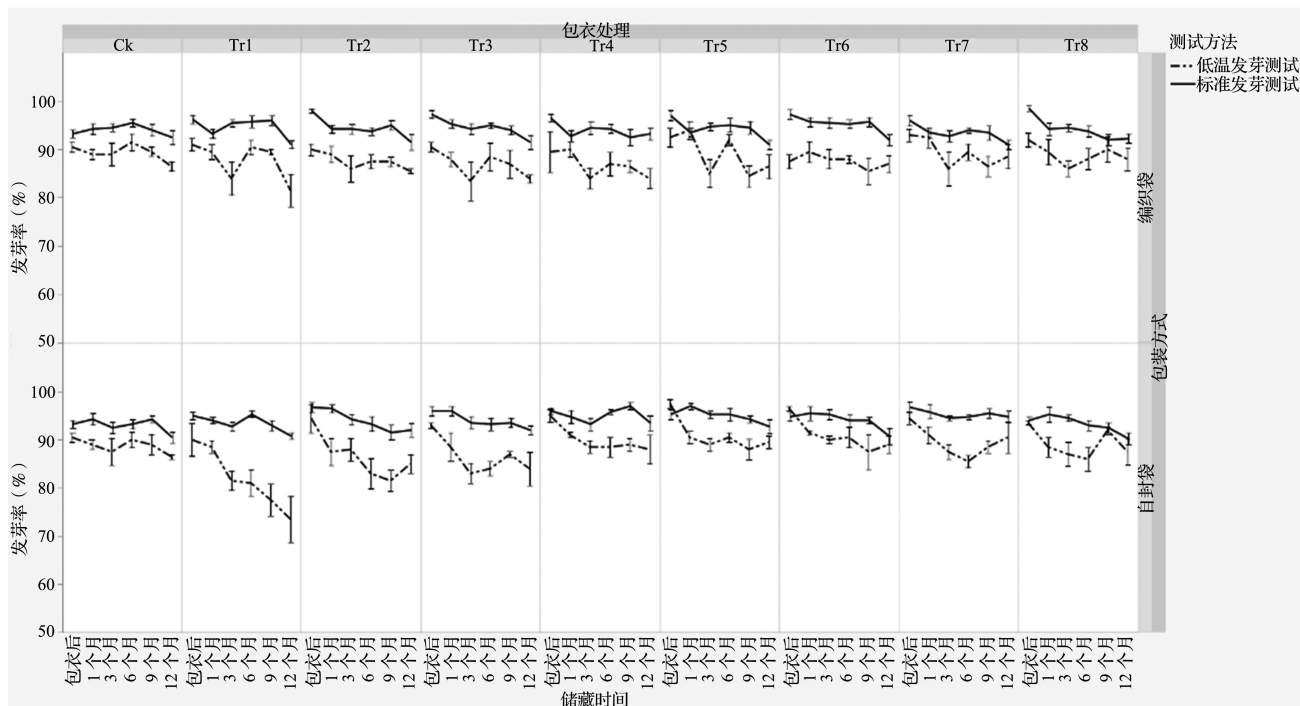


图 3 不同处理发芽率随储藏时间变化曲线

表 1 编织袋包装样品相同时期不同机械药种比处理发芽率方差分析

发芽率(%)	储藏期	机械药种比								
		未包衣对照	1/30	1/40	1/50	1/60	1/70	1/80	1/90	1/100
标准发芽率	T0	93.25b	96.25ab	98.00a	97.25a	96.50ab	97.00ab	97.25a	96.00ab	98.50a
	T1	94.25a	93.25a	94.25a	95.25a	92.75a	93.50a	95.75a	93.50a	94.25a
	T3	94.50a	95.50a	94.25a	94.25a	94.50a	94.75a	95.50a	92.75a	94.50a
	T6	95.50a	95.75a	93.75a	95.00a	94.25a	95.00a	95.25a	94.00a	93.75a
	T9	94.00a	96.00a	95.00a	94.00a	92.50a	94.50a	95.75a	93.50a	92.00a
	T12	92.50a	91.00a	91.50a	91.50a	93.25a	91.00a	92.00a	91.00a	92.25a
低温发芽率	T0	90.50a	91.00a	90.00a	90.50a	89.50a	92.50a	87.50a	93.00a	92.00a
	T1	89.00a	89.50a	89.00a	88.00a	90.00a	94.00a	89.50a	92.50a	89.50a
	T3	89.00a	84.00a	86.00a	83.50a	84.00a	85.00a	88.00a	86.00a	86.00a
	T6	91.50a	90.50a	87.50a	88.50a	87.00a	92.00a	88.00a	89.50a	88.00a
	T9	89.50a	89.50a	87.50a	87.00a	86.50a	84.50a	85.50a	86.50a	90.00a
	T12	86.50a	81.50a	85.50a	84.00a	84.00a	86.50a	87.00a	88.50a	88.00a

不同小写字母表示 0.05 水平上差异显著;T0、T1~T12 依次表示包衣后未经储藏前、储藏 1 个月、储藏 3 个月、储藏 6 个月、储藏 9 个月及储藏 1 年;下同

以上(表 3、表 4);而对于低温发芽率,发现在编织袋保存的情况下未出现显著性差异,对于自封袋密闭保存的样品,只有包衣加水量多的处理 1/30、1/40 及 1/50 出现低温发芽率低于 85% 的情况。说

明该品种小麦种子本身发芽率水平与活力都较理想,经过 1 年藏储也并未出现问题。但是通过包衣完毕由编织袋未经晾晒直接打包的样品中,除 1/60 机械药种比处理外,其他处理样品在 1 年后标准发

表 2 自封袋包装样品相同时期不同机械药种比处理发芽率方差分析

发芽率(%)	储藏期	机械药种比								
		未包衣对照	1/30	1/40	1/50	1/60	1/70	1/80	1/90	1/100
标准发芽率	T0	93.25a	95.00a	96.75a	96.00a	96.00a	95.25a	94.75a	96.75a	94.00a
	T1	94.25a	94.00a	96.50a	96.00a	94.75a	97.00a	95.50a	95.75a	95.25a
	T3	92.50a	92.75a	94.25a	93.50a	93.25a	95.25a	95.25a	94.50a	94.50a
	T6	93.25a	95.25a	93.25a	93.25a	95.75a	95.25a	94.00a	94.75a	93.00a
	T9	94.25ab	93.00ab	91.50b	93.50ab	97.00a	94.25ab	94.00ab	95.50ab	92.50b
	T12	90.50a	90.75a	92.00a	92.00a	93.50a	92.75a	90.75a	94.75a	90.25a
低温发芽率	T0	90.50a	90.00a	94.50a	93.00a	95.00a	97.50a	96.50a	94.50a	93.50a
	T1	89.00a	88.50a	87.50a	88.50a	91.00a	90.50a	91.50a	91.00a	88.50a
	T3	87.50a	81.50a	88.00a	83.00a	88.50a	89.00a	90.00a	87.50a	87.00a
	T6	90.00a	81.00a	83.00a	84.00a	88.50a	90.50a	90.50a	85.50a	86.00a
	T9	89.00ab	77.50c	81.50bc	87.00abc	89.00ab	88.00ab	87.50abc	88.50ab	92.00a
	T12	86.50ab	73.50b	85.00ab	84.00ab	88.00a	89.50a	89.00a	90.50a	87.50a

表 3 编织袋包装样品相同处理不同储藏期发芽率方差分析

发芽率(%)	机械药种比	储藏期					
		T0	T1	T3	T6	T9	T12
标准发芽率	未包衣对照	93.25a	94.25a	94.50a	95.50a	94.00a	92.50a
	1/30	96.25a	93.25ab	95.50a	95.75a	96.00a	91.00b
	1/40	98.00a	94.25ab	94.25ab	93.75b	95.00ab	91.50b
	1/50	97.25a	95.25ab	94.25ab	95.00ab	94.00ab	91.50b
	1/60	96.50a	92.75a	94.50a	94.25a	94.25a	93.25a
	1/70	97.00a	93.50ab	94.75ab	95.00ab	94.50ab	91.00b
	1/80	97.25a	95.75ab	95.50ab	95.25ab	95.75ab	92.00b
	1/90	96.00a	93.50ab	92.75ab	94.00ab	93.50ab	91.00b
	1/100	98.50a	94.25ab	94.50ab	93.75b	92.00b	92.25b
低温发芽率	未包衣对照	90.50a	89.00a	89.00a	91.50a	89.50a	86.50a
	1/30	91.00a	89.50a	84.00a	90.50a	89.50a	81.50a
	1/40	90.00a	89.00a	86.00a	87.50a	87.50a	85.50a
	1/50	90.50a	88.00a	83.50a	88.50a	87.00a	84.00a
	1/60	89.50a	90.00a	84.00a	87.00a	86.50a	84.00a
	1/70	92.50a	94.00a	85.00a	92.00a	84.50a	86.50a
	1/80	87.50a	89.50a	88.00a	88.00a	85.50a	87.00a
	1/90	93.00a	92.50a	86.00a	89.50a	86.50a	88.50a
	1/100	92.00a	89.50a	86.00a	88.00a	90.00a	88.00a

表 4 自封袋包装样品相同处理不同储藏期发芽率方差分析

发芽率(%)	机械药种比	储藏期					
		T0	T1	T3	T6	T9	T12
标准发芽率	未包衣对照	93.25a	94.25a	92.50a	93.25a	94.25a	90.50a
	1/30	95.00a	94.00ab	92.75ab	95.25a	93.00ab	90.75b
	1/40	96.75a	96.50a	94.25a	93.25a	91.50a	92.00a
	1/50	96.00a	96.00a	93.50a	93.25a	93.50a	92.00a
	1/60	96.00a	94.75a	93.25a	95.75a	97.00a	93.25a
	1/70	95.25a	97.00a	95.25a	95.25a	94.25a	92.75a
	1/80	94.75a	95.50a	95.25a	94.00a	94.00a	90.75a
	1/90	96.75a	95.75a	94.50a	94.75a	95.50a	94.75a
	1/100	94.00ab	95.25a	94.50ab	93.00ab	92.50ab	90.25b
低温发芽率	未包衣对照	90.50a	89.00a	87.50a	90.00a	89.00a	86.50a
	1/30	90.00a	88.50a	81.50ab	81.00ab	77.50ab	73.50b
	1/40	94.50a	87.50ab	88.00ab	83.00ab	81.50b	85.00ab
	1/50	93.00a	88.50ab	83.00b	84.00ab	87.00ab	84.00ab
	1/60	95.00a	91.00a	88.50a	88.50a	89.00a	88.00a
	1/70	97.50a	90.50b	89.00b	90.50b	88.00b	89.50b
	1/80	96.50a	91.50ab	90.00ab	90.50ab	87.50b	89.00ab
	1/90	94.50a	91.00ab	87.50ab	85.50b	88.50ab	90.00ab
	1/100	93.50a	88.50a	87.00a	86.00a	92.00a	87.50a

芽率与前期相比表现出显著性差异(表 3)。自封袋密闭包装的样品,个别机械药种比处理如 1/30 及 1/100 在 1 年后标准发芽率也呈现显著性差异(表 4),而在低温发芽率上的表现更明显,甚至有些处理在储藏 1 个月后便出现显著性差异(表 4),通过储藏曲线(图 3)也能看出不同包衣处理及储藏方式随着储藏时间的延长发芽率的下降趋势大小不一。但是也能看到,无论包衣后种子发芽率与活力是否下降,与未包衣对照相比,合适的机械药种比下,发芽率与活力在储藏前以及储藏 1 年后均优于未包衣对照样品。

3 结论与讨论

适当的贮藏条件对于保存有价值的种子很重要,低温干燥的环境以及低水平的种子含水量有助于延长种子的生命力^[1]。Harrington^[12]曾提出过一个经典经验法则:储藏环境每降低 5℃或者湿度每

降低 1%,那么 50% 的种子储藏寿命将延长 1 倍。本研究发现编织袋包装的种子样品含水量会随着环境的变化而改变,而自封袋密闭包装则能阻断水分交换,在整个储藏期基本处于稳定状态。由于实验室自然环境相对理想,种子样品含水量均在安全含水量水平,未发现编织袋包装的明显负面影响。在实际应用中,若储藏条件无法保证,则应该在初始含水量降到安全含水量以下的基础上尽可能减少与外界的水分交换。

在所用种衣剂剂量相同的前提下,不同的机械药种比之间主要是药浆中含水量占比的差异,由于水分占比的不同对种子含水量的影响程度也不一样,故而对种子发芽率及活力的影响也有差异,机械药种比越大,会造成种子初始含水量越大,在不保证储藏条件的前提下,储藏风险就越高。合理的机械药种比既能保证安全初始含水量又能保证

均匀的覆盖效果,是生产实践环节需要考虑的重要参数。

前人研究表明在储藏条件相对合理的前提下,不包衣更有利于发芽率及活力的保持^[11]。但也有报道,包衣处理能够改善种子带菌状态并提高贮藏期抗虫能力,对于提高整个储藏期整体种子质量有积极作用,尤其有些聚合物能够延缓种子总体劣化速度^[13]。本研究表明,采用合理的机械药种比对于种子发芽率和活力的保持至关重要,同时能够提升低温逆境下的出芽能力。但在实际加工应用中,由于客观条件的不可控性,减少储藏时间仍然是规避风险的重要方式与手段。

参考文献

- [1] Dixit S, Singh P, Singh C B, Kumar A, Yadava V K. Effect of seed coating treatments on germination and vigour of wheat (*Triticum aestivum* L.) during ambient storage. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2018, 7 (3): 1145-1147
 - [2] 徐峰. 种子包衣技术及发展应用. *农业工程技术*, 2017 (23): 33
 - [3] 王玉卿, 肖春, 曹雅忠, 尹姣, 曹煜, 李克斌. 两种杀菌剂和杀虫剂复配制剂对小麦主要病虫害的防治效果评价. *植物保护*, 2010, 36 (2): 157-160
 - [4] 段成鼎, 任兰柱, 王付彬, 范建芝, 马井玉. 6种不同杀菌剂对小麦赤霉病的防治效果及对小麦产量的影响. *安徽农业科学*, 2015, 43 (4): 123-124
 - [5] 纵瑞收, 邹芳刚, 赵忠钧. 种子包衣剂在小麦上的应用研究. *种子*, 2001, 20 (5): 52-53
 - [6] 颜启传. *种子学*. 北京: 中国农业出版社, 2001
 - [7] 孙群, 胡晋, 孙庆泉. *种子加工与贮藏*. 北京: 高等教育出版社, 2008
 - [8] 江绪文, 胡江漫, 李红飞, 何骋, 同治斌, 王建华. 玉米生产中种子安全贮藏的关键环节. *中国种业*, 2012 (12): 13-14
 - [9] 王三华. 种子包衣对玉米种子贮藏过程中种子活力的影响探讨. *种子科技*, 2019 (16): 14-16
 - [10] 刘振威. 小麦种子包衣贮藏对种子活力的影响. *河北农业科学*, 1995 (2): 43
 - [11] 殷贵鸿, 郑继周, 韩玉林, 于海飞, 石俊梨, 常伟良. 不同包衣药剂及贮藏期对小麦种子发芽率的影响. *河南农业科学*, 2004 (2): 11-13
 - [12] Harrington J F. Practical advice and instructions on seed storage. *Proceeding of the International Seed Testing Association*, 1963, 28: 989-994
 - [13] Kumar J, Nissar K, Kumar A, Wallia S, Parmar B S. Development of polymeric seed coats for seed quality enhancement of soybean (*Glycine max*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 2007, 77 (11): 738-743
- (收稿日期: 2023-04-07)
-
- (上接第 47 页)
- 鹏, 薛军, 张镇涛, 侯梁宇, 李少昆. 黄淮海夏玉米机械化粒收质量及其主要影响因素. *农业工程学报*, 2021, 37 (7): 1-7
 - [3] 赵久然, 王荣焕. 中国玉米生产发展历程、存在问题及对策. *中国农业科技导报*, 2015 (3): 1-6
 - [4] 申炳涛, 朱伟岭, 李颜, 孙忠超. 河南省长葛市玉米品种比较试验研究. *中国种业*, 2023 (1): 72-75
 - [5] 董朋飞, 王群, 王振华, 沈东风, 常建智, 柳家友, 洪德峰, 李潮海. 河南省夏玉米品种筛选与机械粒收质量研究. *玉米科学*, 2020, 28 (2): 128-134
 - [6] 郭庆辰, 康浩冉, 王丽娥, 刘洪泉, 陈艳花, 白光红, 窦秉德. 黄淮区籽粒机收玉米标准及育种模式探讨. *农业科技通讯*, 2016 (1): 159-162
 - [7] 樊伟民. 玉米茎腐病的研究现状及防治策略. *黑龙江农业科学*, 2022 (3): 76-80
 - [8] 王良发, 徐国举, 张守林, 张金奎, 卢瑞乾, 李长建, 王海军, 李凤章. 对 25 个玉米品种的茎腐病抗性分析和产量损失评估. *玉米科学*, 2015, 23 (6): 12-1
 - [9] 李刚, 杨粉团, 曹庆军, 姜晓莉. 玉米等主要作物真菌毒素、限量标准与调控技术. *东北农业科学*, 2017, 42 (6): 49-52
 - [10] Munkvold G P, Hellmich R L, Showers W B. Reduced Fusarium ear rot and symptomless infection in kernels of maize genetically engineered for European corn borer resistance. *Phytopathology*, 1997, 87 (10): 1071-1077
 - [11] 王玉丽. 玉米倒伏的影响因素及防治措施. *现代农业科技*, 2018 (11): 56-57
 - [12] 山东省种子管理总站. 山东省玉米、水稻品种审定标准(2023年修订). (2023-02-21) [2023-04-25]. http://www.seedsd.com/gdgg/202302/20230221_4248439.htm
 - [13] 佟屏亚. 对玉米籽粒机械化收获的探讨. *农业技术与装备*, 2015 (4): 4-6
 - [14] 李少昆, 谢瑞芝, 王克如, 明博, 侯鹏. 专题导读: 加强籽粒脱水与植株倒伏特性研究、推动玉米机械粒收技术应用. *作物学报*, 2018, 44 (12): 1743-1746
 - [15] 徐田军, 吕天放, 赵久然, 王荣焕, 崔铁英, 贾晓军, 张勇, 蔡万涛, 刘月娥, 刘秀芝, 陈传永, 王元东. 玉米品种京农科 728 机械粒收质量性状研究. *作物杂志*, 2021 (2): 101-107
 - [16] 王克如, 李璐璐, 高尚, 王涔州, 黄兆福, 谢瑞芝, 明博, 侯鹏, 薛军, 张国强, 侯梁宇, 李少昆. 中国玉米机械粒收质量主要指标分析. *作物学报*, 2021, 47 (12): 2440-2449
 - [17] 李璐璐, 雷晓鹏, 谢瑞芝, 王克如, 侯鹏, 张凤路, 李少昆. 夏玉米机械粒收质量影响因素分析. *中国农业科学*, 2017, 50 (11): 2044-2051
 - [18] 董朋飞, 李潮海, 李少昆, 王克如, 刘天学, 张学林, 赵亚丽, 王群. 持续阴雨对不同播期玉米籽粒含水率和机械粒收质量的影响. *玉米科学*, 2019, 27 (5): 137-142
- (收稿日期: 2023-04-25)