

文章编号:1000-8551(2020)05-1097-09

籽粒黄熟度对杂交水稻种子活力的影响

王晓敏 唐启源* 郑华斌 莫文伟 杨剑波

(湖南农业大学农学院,湖南 长沙 410128)

摘要:为明确籽粒黄熟度对杂交水稻种子活力的影响,探究杂交水稻高活力种子适宜收获期的感官指标,于2016–2017年以深两优1813、隆两优1813、Y两优1128、创两优华占和Ⅱ优838为材料进行杂交水稻制种,通过不同收获时期形成籽粒黄熟度不同的群体,系统分析了不同籽粒黄熟度群体间种子活力、水分、千粒重及内含物的差异。结果表明,在不同品种间,籽粒黄熟度的增加速率存在明显差异。随着籽粒黄熟度的增加,种子活力先增加后趋于稳定;种子水分先降低后趋于稳定;种子千粒重逐渐增加,但差异不显著;种子的直链淀粉、总淀粉、蛋白质及可溶性糖含量均先增加后趋于稳定。当籽粒的黄熟度为75%~90%时,种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均处于高值水平,且差异不显著;种子水分和千粒重均未达到显著差异。相关性分析表明,籽粒黄熟度与种子发芽率、活力指数呈极显著正相关,相关系数分别为0.870 3**和0.664 0**;与种子水分呈极显著负相关($R^2 = -0.842 4^{**}$),与种子千粒重相关性不显著($R^2 = 0.197 2$)。籽粒黄熟度与种子内含物均无显著相关性,但种子发芽势、发芽指数和活力指数均与种子内含物达到显著相关。综上,籽粒黄熟度为75%~90%可以作为杂交水稻高活力种子生产适宜收获期的感官指标。本研究结果为杂交水稻高活力种子生产提供了理论参考。

关键词:黄熟度;种子活力;杂交水稻;种子生产

DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2020.05.1097

水稻(*Oryza sativa* L.)是我国的主要粮食作物之一,全国约60%的人口以稻米为主食^[1]。自20世纪70年代以来,杂交水稻技术的成功应用及大面积推广为我国粮食安全做出了巨大贡献。杂交水稻的产量比常规稻高出15%~20%,截止2014年,杂交水稻累计增产约5亿t^[2]。当前我国水稻生产正处于转型期,传统的精耕细作难以满足人们的生活需求,轻简化和机械化的栽培管理方式亟待推广^[2]。但杂交水稻种子质量问题突出,发芽率普遍较低,严重阻碍了定量、精确等机械化栽培技术的应用和推广^[2-3]。因此,需要对杂交水稻种子质量进行深入研究。

种子活力是评价种子质量的重要指标,反映了种子潜在萌发、出苗能力与贮藏性能^[4]。高活力种子对不良环境抵抗力强,有明显的生长优势和生长潜力;低活力种子在不良环境条件下出苗不整齐,甚至不出苗^[4-6]。种子活力是在种子发育过程中形成的,不同

收获期的种子具有不同水平的种子活力。大量研究表明,授粉后天数可以作为确定种子适宜收获期的一项指标。郝楠等^[7]研究表明,玉米辽单588种子在辽宁地区适宜收获期为授粉后53 d;付爱斌等^[8]认为,陆两优996种子适宜收获期为母本(陆18S)终花后14~17 d。但种子的生长发育速度受发育期间大气温度、湿度等气象因素的影响^[4],且同一品种在不同生态区的适宜收获期也存在差异^[7,9]。因此,以授粉后天数作为种子收获期的参考指标具有不确定性。采用感官指标确定种子适宜收获期是较为高效的评价方式。樊廷录等^[10]研究表明,玉米种子乳线下移至籽粒1/2位置时,种子水分为38%~40%,发芽率和活力均处在高值水平;周海宁等^[11]认为玉米籽粒黑层出现前3~6 d收获的种子具有较高的活力。然而,有关杂交水稻高活力种子适宜收获期感官指标的研究却鲜见报道。随着水稻种子成熟进程的推进,种子颖壳的颜色由绿色

收稿日期:2018-10-08 接受日期:2019-02-24

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(201303002),国家水稻产业技术体系岗位专家项目(CARS-01-26)

作者简介:王晓敏,男,主要从事种子活力研究。E-mail:wxmefs@163.com

* 通讯作者:唐启源,男,教授,主要从事作物栽培研究。E-mail:cntqy@aliyun.com

逐渐转变为黄熟。本研究从群体的角度出发,以籽粒黄熟度(一般将黄色籽粒数占籽粒总数的比例称为籽粒黄熟度)为感官指标,分析不同黄熟度群体间种子活力的差异,探究杂交水稻高活力种子适宜收获期的感官指标,旨在为杂交水稻高活力种子生产提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2016 年和 2017 年分别在湖南省邵阳市绥宁县(110°15'E、26°58'N)、湖南省郴州市桂阳县(112°72'E、25°73'N)和桂东县(114°11'E、25°08'N)进行杂交水稻种子生产。绥宁县年平均气温 16.7℃,年平均降水量 1 320.0 mm,年平均日照时数 1 348.9 h,年平均无霜期 304 d;桂阳县年平均气温 17.5℃,年平均降水量 1 485.5 mm,年平均日照时数 1 527.8 h,年平均无霜期 277 d;桂东县年平均气温 15.4℃,年平均降水量 1 670.1 mm,年平均日照时数 1 372.4 h,年平均无霜期 240 d,三地均属于亚热带季风性湿润气候。

1.2 试验材料

2016 年以深两优 1813(深 08S×R1813)、隆两优 1813(隆科 638S×R1813)、Ⅱ优 838(Ⅱ-32A×辐恢 838)和 Y 两优 1128(Y58S×R1128)为供试材料,品种均由湖南隆平种业有限公司提供。2017 年以创两优华占(创 5S×华占)和Ⅱ优 838(Ⅱ-32A×辐恢 838)为供试材料,品种分别由湖南金色农华种业科技有限公司和湖南隆平种业有限公司提供。

1.3 试验设计

各品种均采用当地种子生产技术进行制种,不同品种间采用空间隔离防止串粉。在盛花期,选生长基本一致的植株进行挂牌,挂牌数量为 80 莩,每个品种根据授粉后天数进行取样,每隔 2 d 取一次样,每次样品数量为 10 莩,直至收获完成,各品种具体取样时间见表 1。样品进行人工脱粒,统计黄熟度并测定种子水分,实验室内测定样品粒重、内含物和种子活力等指标。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 籽粒黄熟度测定 将每次取的样本均匀分为 2 组进行考种,统计每穗的黄色实粒数和总实粒数。按照公式计算黄熟度:

$$\text{黄熟度} = \text{黄色实粒数} / \text{总实粒数} \times 100\%$$

(1)。

1.4.2 标准发芽测定 按标准发芽方法进行种子发

芽试验,每个处理随机数取 100 粒种子,3 次重复,1.0%次氯酸钠消毒 10 min,洗净(冲洗 3 次),统一浸种 24 h。于发芽盒(20 cm×15 cm×12 cm)垫 2 层专用发芽纸,加 9 mL 蒸馏水,将种子均匀置于湿润的发芽纸上,30±1℃恒温培养。放入培养箱当天记 0 d,每天记录发芽数(正常幼苗数),至第 7 天时统计发芽数并剪下幼苗烘干称重,按照公式计算发芽率、发芽指数(germination index, GI)和活力指数(vigor index, VI):

$$\text{发芽率} = \text{正常幼苗数} / \text{供试种子数} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{发芽势} = \text{前 3 d 正常幼苗数} / \text{供试种子数} \times 100\% \quad (3)$$

$$GI = \sum (Gt/Dt) \quad (4)$$

$$VI = GI \times S \quad (5)$$

式中,Dt 为发芽日数,Gt 为与 Dt 相对应的当天发芽种子数;S 为一定时期内(7 d)幼苗干重,g。

1.4.3 老化发芽测定 将种子批置于老化盒(10 cm×10 cm×3 cm),再置于老化箱(温度 45℃,相对湿度 100%)中持续老化 96 h。然后进行标准发芽试验,测定种子活力的相关参数。

1.4.4 种子的水分和千粒重 样品的水分采用 TD-6 电脑水分计(上海三久机械有限公司)测定,4 次重复。取 30±1 g 试样,统计粒数,烘干至恒重,称重(干重),然后将干重换算成种子的千粒重,3 次重复。

1.4.5 种子(糙米)蛋白质含量测定 蛋白质含量采用 SKALAR 连续流动分析仪(荷兰 SKALAR 分析仪器公司)测定^[12],并按照公式计算蛋白质含量:

$$\text{蛋白质含量} = \mu\text{g} \times 10 \times 100 \times 10^{-6} / \text{m} \times 7.5 \times 100\% \quad (6)$$

式中,μg 为流动分析仪测量数据,mL;m 为样品重量,g。

1.4.6 种子(糙米)总淀粉含量测定 总淀粉含量参照尹燕桦^[13]的研究采用旋光法测定,并按照公式计算总淀粉含量:

$$\text{总淀粉含量} = (a \times 10^4 \times 50) / [L \times W \times (100 - H) \times 185.9] \times 100\% \quad (7)$$

式中,a 为测定的旋光度;L 为旋光管长度,dm;W 为样品重量,g;H 为样品水分含量。

1.4.7 种子(糙米)直链淀粉含量测定 直链淀粉含量参照王国槐^[14]的研究采用碘蓝比色法测定。即以含量为 1.5%、10.4%、16.2%和 26.5%的标准样品,与待测样品在同等条件下水分含量比色,记录吸光度值,带入标准曲线确定待测样含量。

表 1 各品种的取样日期
Table 1 Sampling date of varieties

年份 Year	地点 Site	品种 Varieties	取样日期 Date of sampling/(month/day)	授粉后天数 Days after pollination/d
2016	绥宁县 Suining county	深两优 1813 Shenliangyou1813	09/02	12
			09/04	14
			09/06	16
			09/08	18
	绥宁县 Suining county	隆两优 1813 Longliangyou1813	09/02	9
			09/04	11
			09/06	13
			09/08	15
			09/10	17
	绥宁县 Suining county	Y 两优 1128 Yliangyou1128	09/03	17
			09/05	19
			09/07	21
	桂东县 Guidong county	Ⅱ 优 838 Ⅱ you838	09/09	23
			09/13	15
			09/15	17
			09/17	19
			09/19	21
2017	桂阳县 Guiyang county	创两优华占 Chuangliangyouhuazhan	09/12	15
			09/14	17
			09/16	19
			09/18	21
	桂东县 Guidong county	Ⅱ 优 838 Ⅱ you838	09/13	15
			09/15	17
			09/17	19
			09/19	21

1.4.8 种子(糙米)可溶性糖含量测定 可溶性糖含量参照张宪政^[15]的研究采用蒽酮比色法测定,并按照公式计算可溶性糖含量:

可溶性糖含量=[(C×V/a)/(W×(1-H)×10⁶)]×100% (8)

式中,C 为根据回归方程计算的葡萄糖含量,μg; V 为样品提取液总体积,mL;a 为显色时取样品液量,mL; W 为样品重量,g;H 为样品水分含量。

1.5 数据统计与分析

采用 Microsoft Excel 2007 整理数据;采用 DPS 7.5 进行统计分析;采用 Statistix 8.0 进行数据的方差分析,多重比较采用 LSD 法。2016 年和 2017 年水分和千粒重变化规律一致,且仅 2017 年进行了种子老化试验和种子贮藏物质含量的测定,因此,结果与分析中以 2017 年数据进行阐述。

2 结果与分析

2.1 籽粒黄熟度对种子活力的影响

种子发芽率、发芽势、发芽指数及活力指数均随着籽粒黄熟度的增加而先增加后趋于稳定(表 2)。以深两优 1813 为例,籽粒黄熟度的变化范围为 39.1%~89.2%,种子发芽率和发芽势分别增加了 9.0 和 14.7 个百分点,发芽指数和活力指数分别增加了 17.3%和 36.7%。当籽粒黄熟度分别为 71.2%和 89.2%时,种子的发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均无显著差异(P>0.05)。综合分析各供试品种的种子活力,黄熟度为 75%~90%时,种子发芽率、发芽势、发芽指数及活力指数均处于高值水平,且差异不显著(P>0.05)。

表 2 籽粒黄熟度对种子活力的影响(2016–2017 年)
Table 2 Effects of yellow-seed percentage on seed vigor (year 2016–2017)

年份 Years	品种 Varieties	黄熟度 Yellow-seed percentage/%	发芽率 Germination percentage/%	发芽势 Germination energy/%	发芽指数 GI	活力指数 VI
2016	深两优 1813 Shenliangyou1813	39. 1	84. 7±1. 5c	49. 0±2. 0c	25. 5±0. 3b	6. 0±0. 1b
		58. 2	86. 3±4. 9bc	52. 0±5. 3bc	25. 9±1. 7b	6. 2±0. 5b
		71. 2	92. 0±1. 7ab	59. 3±4. 7ab	28. 6±0. 8a	7. 7±0. 4a
		89. 2	93. 7±1. 2a	63. 7±3. 5a	29. 9±0. 7a	8. 2±0. 2a
	隆两优 1813 Longliangyou1813	16. 8	83. 0±1. 0b	49. 3±7. 6b	25. 4±1. 6d	4. 0±0. 1c
		25. 1	85. 3±2. 9b	55. 3±4. 7b	27. 1±1. 0cd	3. 8±0. 1c
		41. 8	90. 0±1. 7a	67. 3±1. 2a	28. 7±0. 1bc	5. 1±0. 3b
		73. 2	93. 0±2. 0a	70. 3±0. 6a	30. 2±0. 5ab	6. 7±0. 2a
	Y 两优 1128 Yliangyou1128	82. 1	93. 3±3. 2a	74. 0±5. 0a	31. 3±1. 6a	7. 1±0. 4a
		27. 2	80. 3±9. 2b	64. 3±8. 1c	29. 4±4. 2b	2. 7±0. 4c
		49. 5	86. 3±2. 1ab	67. 0±4. 0bc	31. 0±0. 6ab	4. 8±0. 2b
		70. 4	90. 3±1. 1ab	76. 7±5. 0ab	33. 0±3. 6ab	5. 8±0. 8a
	II 优 838 II you838	92. 2	95. 3±1. 5a	84. 0±4. 4a	35. 1±1. 8a	6. 1±0. 4a
		20. 8	80. 0±2. 0b	75. 0±3. 0b	36. 6±0. 8b	7. 0±0. 2c
		48. 9	84. 3±0. 6ab	78. 7±0. 6ab	38. 1±0. 2b	8. 6±0. 2b
		73. 4	87. 3±3. 2ab	83. 7±2. 9a	41. 2±1. 2a	10. 2±0. 6a
2017	创两优华占 Chuangliangyouhuazhan	92. 4	88. 7±2. 1a	84. 7±2. 1a	41. 3±0. 8a	10. 8±0. 2a
		17. 2	78. 7±0. 6c	45. 7±3. 2c	23. 3±0. 4c	4. 9±0. 1c
		55. 4	88. 0±3. 6b	59. 7±5. 5b	26. 8±1. 3b	6. 4±0. 5b
		75. 2	92. 0±3. 6ab	62. 7±4. 5b	28. 1±0. 8a	7. 4±0. 1a
	II 优 838 II you838	92. 2	93. 3±2. 3a	72. 7±3. 2a	29. 2±0. 3a	7. 9±0. 2a
		21. 5	81. 7±1. 2b	76. 3±4. 2b	37. 3±0. 7b	7. 3±0. 1c
		48. 9	84. 7±1. 5ab	78. 3±2. 1ab	38. 1±0. 6b	8. 7±0. 1b
		73. 6	87. 0±4. 4ab	83. 3±4. 0a	41. 1±1. 6a	10. 4±0. 5a
		93. 0	88. 3±2. 3a	84. 0±1. 0a	41. 3±0. 6a	10. 9±0. 1a

注:同列数据后不同小字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same as following.

进一步分析不同籽粒黄熟度群体加速老化后种子活力的变化情况。由表 3 可知,较标准发芽,加速老化处理进一步扩大了不同籽粒黄熟度群体间种子活力的差异。以 II 优 838 为例,籽粒黄熟度的变化范围为 21.5%~93.0%,在标准发芽条件下,种子发芽率增加了 6.6 个百分点,活力指数增加了 49.3%(表 2);在加速老化条件下,种子发芽率增加了 9.3 个百分点,活力指数增加了 77.5%。当籽粒黄熟度为 75%~90%时,种子发芽率和活力指数差异不显著($P>0.05$),但显著高于籽粒黄熟度低的群体。因此,在杂交水稻种子生产中,籽粒黄熟度对种子活力具有显著影响。

2.2 籽粒黄熟度对种子水分和千粒重的影响

由表 4 可知,随着籽粒黄熟度的增加,种子千粒重呈逐渐增加的趋势,但未达到显著差异水平;种子水分先降低后趋于稳定。以 II 优 838 为例,籽粒黄熟度的变化范围为 21.5%~93.0%,种子千粒重增加了 2.1%,种子水分降低了 2.9 个百分点。当籽粒黄熟度分别为 73.6%和 93.0%时,种子千粒重和水分均未达到显著差异水平($P>0.05$),但种子水分显著低于籽粒黄熟度为 21.5%的群体。当籽粒的黄熟度为 75%~90%时,种子的水分和千粒重均未达到显著差异($P>0.05$)。

表 3 加速老化对不同籽粒黄熟度种子活力的影响(2017 年)

Table 3 Effects of different yellow-seed percentage on seed vigor under accelerated aging test (year 2017)

品种 Varieties	黄熟度 Yellow-seed percentage/%	发芽率 Germination percentage/%	发芽势 Germination energy/%	发芽指数 GI	活力指数 VI
创两优华占 Chuangliangyouhuazhan	17. 2	70. 7±3. 1b	53. 0±2. 0c	22. 0±0. 9b	3. 1±0. 1c
	55. 4	79. 3±3. 2ab	61. 0±3. 0b	24. 9±1. 1a	4. 0±0. 3b
	75. 2	85. 0±5. 6a	64. 7±2. 1ab	26. 6±1. 5a	5. 0±0. 1a
	92. 2	87. 0±4. 0a	67. 0±2. 0a	27. 3±1. 1a	5. 3±0. 2a
Ⅱ 优 838	21. 5	70. 7±3. 2c	69. 7±3. 2b	34. 2±1. 4b	4. 0±0. 2c
Ⅱ you838	48. 9	73. 3±1. 5bc	72. 3±1. 5ab	35. 5±0. 7ab	5. 1±0. 1b
	73. 6	78. 7±3. 8ab	77. 0±3. 5a	37. 6±1. 9a	6. 9±0. 6a
	93. 0	80. 0±1. 0a	78. 0±1. 0a	38. 1±0. 7a	7. 1±0. 3a

表 4 不同籽粒黄熟度群体的种子水分和千粒重(2017 年)

Table 4 Seed moisture and 1000-grain weight of
different yellow-seed percentage populations(year 2017)

品种 Variety	黄熟度 Yellow-seed percentage/%	千粒重 1000-grain weight/g	水分 Seed moisture/%
Ⅱ 优 838	21. 5	23. 4±0. 3a	29. 7±0. 1a
Ⅱ you838	48. 9	23. 8±0. 4a	27. 9±0. 9b
	73. 6	23. 8±0. 7a	27. 3±0. 1bc
	93. 0	23. 9±0. 4a	26. 8±0. 4c
创两优华占 Chuangliangyouhuazhan	17. 2	21. 8±0. 4a	30. 8±0. 1a
	55. 4	21. 9±0. 7a	29. 0±0. 9b
	75. 2	22. 0±0. 3a	28. 4±0. 1b
	92. 2	22. 4±0. 1a	28. 2±0. 3b

2. 3 籽粒黄熟度和种子活力、水分及千粒重的相关性

由表 5 可知,籽粒黄熟度与种子活力(发芽率、发芽势和活力指数)呈极显著或显著正相关,与种子水分呈极显著负相关,与种子千粒重的相关性不显著。在种子活力参数中,籽粒黄熟度与发芽率的相关性最高($R^2=0.870\ 3$),与发芽指数的相关性最低($R^2=0.442\ 6$)。发芽率与发芽势、发芽指数及活力指数的相关性均未到达显著水平,但发芽势与发芽指数及活力指数的相关性均达到极显著或显著水平,发芽指数和活力指数呈显著正相关。

2. 4 籽粒黄熟度对种子内含物含量的影响

随着籽粒黄熟度的增加,种子的直链淀粉、总淀粉、蛋白质及可溶性糖含量均呈先增加后趋于稳定的

表 5 黄熟度与种子活力、水分及千粒重的相关性分析(2016–2017 年)

Table 5 Correlation analysis between yellow-seed percentage, seed vigor, seed moisture and 1000-grain weight(year 2016–2017)

指标 Index	黄熟度 Yellow-seed percentage	发芽率 Germination percentage	发芽势 Germination energy	发芽指数 GI
发芽率 Germination percentage	0. 870 3 **			
发芽势 Germination energy	0. 595 1 *	0. 422 7		
发芽指数 GI	0. 442 6	0. 143 2	0. 907 4 **	
活力指数 VI	0. 664 0 **	0. 386 6	0. 584 4 *	0. 683 9 **
千粒重 1000-grain weight	0. 197 2	—	—	—
种子水分 Seed moisture	−0. 842 4 **	—	—	—

注: *、** 分别表示相关性在 0. 05 和 0. 01 水平达到显著和极显著。下同。
Note: *、** indicate the correlation was significant and extremely significant at 0. 05 and 0. 01 level, respectively. The same as following.

趋势(表6)。Ⅱ优838籽粒黄熟度变化范围为21.5%~93.0%,直链淀粉、总淀粉、蛋白质及可溶性糖含量分别增加了0.60、0.03、0.04和0.04个百分点。创两优华占籽粒黄熟度变化范围为17.2%~92.2%,直链淀粉、总淀粉、蛋白质及可溶性糖含量分别增加了0.42、0.04、0.07和0.07个百分点。当籽粒的黄熟度处于75%~90%时,种子的直链淀粉、总淀粉、蛋白质及可溶性糖含量均无显著差异($P>0.05$),但显著高于籽粒黄熟度低(21.5%和17.2%)的群体。

表 6 不同籽粒黄熟度群体的种子内含物含量(2017 年)					
Table 6 Storage substance of different yellow-seed percentage populations(year 2017)					
/%					
品种 Varieties	黄熟度 Yellow-seed percentage	直链淀粉含量 Amylose content	总淀粉含量 Total starch content	蛋白质含量 Protein content	可溶性糖含量 Soluble sugar content
Ⅱ 优 838 Ⅱ you838	21. 5	21. 87c	79. 11b	8. 33b	1. 32b
	48. 9	22. 33b	79. 13a	8. 36a	1. 35a
	73. 6	22. 45a	79. 13a	8. 37a	1. 35a
	93. 0	22. 47a	79. 14a	8. 37a	1. 36a
创两优华占 Chuangliangyouhuazhan	17. 2	19. 75c	78. 32b	9. 21b	1. 23b
	55. 4	20. 03b	78. 35a	9. 27a	1. 29a
	75. 2	20. 16a	78. 36a	9. 27a	1. 30a
	92. 2	20. 17a	78. 36a	9. 28a	1. 30a

2.5 籽粒黄熟度和种子内含物的相关性

由表7可知,籽粒黄熟度与种子内含物均未达到显著相关,但种子发芽势、发芽指数和活力指数均与种子内含物达到显著或极显著相关。除发芽率外直链淀粉含量与种子活力呈极显著正相关($R^2=0.8281^{**} \sim 0.9847^{**}$);总淀粉含量与种子活力呈极显著正相关($R^2=0.7402^{**} \sim 0.9602^{**}$);蛋白质含量与种子活力呈显著负相关($R^2=-0.9357^{**} \sim -0.6979^{*}$);可溶性糖含量与种子活力呈极显著正相关($R^2=0.9336^{**} \sim 0.9623^{**}$)。

表 7 籽粒黄熟度和种子活力、内含物的相关性分析(2017 年)								
Table 7 Correlation analysis between yellow-seed percentage, seed vigor and storage substance(year 2017)								
指标 Index	黄熟度 Yellow-seed percentage	发芽率 Germination percentage	发芽势 Germination energy	发芽指数 GI	活力指数 VI	直链淀粉含量 Amylose content	总淀粉含量 Total starch content	蛋白质含量 Protein content
发芽率 Germination percentage	0. 896 0 ^{**}							
发芽势 Germination energy	0. 502 5	0. 301 8						
发芽指数 GI	0. 285 4	0. 014 3	0. 940 8 ^{**}					
活力指数 VI	0. 692 3 [*]	0. 379 2	0. 914 5 ^{**}	0. 889 2 ^{**}				
直链淀粉含量 Amylose content	0. 155 0	-0. 128 5	0. 879 9 ^{**}	0. 984 7 ^{**}	0. 828 1 ^{**}			
总淀粉含量 Total starch content	0. 015 5	-0. 252 2	0. 830 2 ^{**}	0. 960 2 ^{**}	0. 740 2 ^{**}	0. 988 2 ^{**}		
蛋白质含量 Protein content	0. 060 7	0. 328 0	-0. 787 8 ^{**}	-0. 935 7 ^{**}	-0. 697 9 [*]	-0. 973 3 ^{**}	-0. 996 5 ^{**}	
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0. 504 4	0. 303 5	0. 962 3 ^{**}	0. 941 3 ^{**}	0. 933 6 ^{**}	0. 8986 ^{**}	0. 836 2 ^{**}	-0. 787 8 ^{**}

3 讨论

种子活力是在种子发育过程中形成的,种子发育期间的环境条件,包括土壤水分含量、大气温湿度、种子采收期等,均会对种子活力造成影响^[4]。其中,种子采收期易于调控,因此适时收获种子对其质量的提高具有重要作用。樊廷录等^[10]以乳线为感官指标确定玉米种子的适宜收获期;周海宁等^[11]以黑层为感官指标确定早熟和晚熟玉米杂交品种的种子适宜收获期。本研究从群体角度出发,以籽粒黄熟度为感官指标,系统分析了不同黄熟度籽粒群体间种子活力的差异。结果表明,籽粒黄熟度在 75%~90%时,种子活力和千粒重均处于高值水平,且此范围在授粉后 17~23 d(数据未列出)。付爱斌等^[8]研究表明,授粉后 17 d 可以作为陆两优 996 的适宜收获期。蒋敏明^[16]研究表明,杂交水稻的适宜收获期在授粉后 15~20 d。Fu 等^[17]报道株两优 06 适宜在授粉后 20 d 进行收获。因此,本试验中,籽粒黄熟度为 75%~90%作为收获期,基本符合相关报道中的适宜收获期,即以授粉后的天数为参考指标。此外,不同生态区进行制种将对种子活力及收获期均会造成明显影响^[7,9,18]。郝楠等^[7]研究表明,辽单 588 种子在辽宁地区适宜收获期为授粉后 53 d,甘肃地区为授粉后 56 d,海南地区为授粉后 47 d。因此,以授粉后的天数作为种子适宜收获期具有区域性。本研究在不同地区进行杂交水稻种子生产,综合分析不同地区各品种籽粒黄熟度的变化特征,结果表明,在不同生态区进行制种粒黄熟度与种子发芽率、活力指数均呈极显著正相关,因此以籽粒黄熟度作为杂交水稻高活力种子生产适宜收获期的感官指标具有一定代表性和准确性。

种子发育过程伴随着种子贮藏物质的不断增加。本试验结果表明,随着籽粒黄熟度的增加,种子直链淀粉、总淀粉、蛋白质及可溶性糖含量均呈增加趋势,但籽粒黄熟度和种子内含物均无显著相关性,这可能是因为取样日期主要集中在种子发育后期且取样次数较少,导致种子内含物含量差异不明显,所以与籽粒黄熟度相关性不明显。

水稻籽粒灌浆是指光合产物向籽粒运输的过程,灌浆充实好、粒重高的籽粒称为强势粒;灌浆慢、充实差和粒重低的籽粒称为弱势粒^[19-21]。强弱势粒灌浆对水稻的产量和质量均会产生重要影响。在本试验中,黄色籽粒是强势粒的外在表现,绿色籽粒是弱势粒的外在表现。随着籽粒黄熟度的增加,强势粒的数量

增加,弱势粒的数量减少,最终表现为水稻群体种子活力增加。因此,不同收获时期群体间种子活力的差异可能由强弱势粒群体的质量及数量不同导致的。很多学者也发现水稻灌浆中存在异步灌浆,并提出多种假设,包括同化物限制^[22-24]、库容限制^[25-27]、库活性低^[28-30]等。因此,如何促进弱势粒灌浆、提高弱势粒的质量及强势粒的数量是进一步提高杂交水稻种子活力的有效途径。

4 结论

本研究表明,不同籽粒黄熟度对杂交水稻种子质量具有显著影响。随着籽粒黄熟度的增加,种子活力和贮藏物质含量均呈先增加后趋于稳定的趋势;种子千粒重呈逐渐增大的趋势,但均未达到显著差异;种子水分先降低后趋于稳定。当籽粒黄熟度为 75%~90%时,种子活力和千粒重均处于高值水平,且种子内含物含量差异不显著。因此,籽粒黄熟度为 75%~90%可以作为杂交水稻高活力种子生产适宜收获期的有效感官指标。本研究结果为杂交水稻高活力种子生产提供了理论参考。

参考文献:

- [1] 朱德峰,张玉屏,陈惠哲,向镜,张义凯. 中国水稻高产栽培技术创新与实践[J]. 中国农业科学, 2015, 48(17): 3404-3414
- [2] 彭少兵. 转型时期杂交水稻的困境与出路[J]. 作物学报, 2016, 42(3): 313-319
- [3] 陈立云,雷东阳,唐文帮,邓化冰,肖应辉,张桂莲. 中国杂交水稻发展面临的挑战与策略[J]. 杂交水稻, 2015, 30(5): 1-4
- [4] Sun Q, Wang J H, Sun B Q. Advances on seed vigor physiological and genetic mechanisms[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2007, 6(9): 1060-1066
- [5] 刘明久,王铁固,陈士林,王春虎,赵新亮. 玉米种子人工老化过程中生理特性与种子活力的变化[J]. 核农学报, 2008, 22(4): 510-513
- [6] 李武,李妍,李高科,高磊,陈敏忠,卢爵广,胡建广,刘建华. 高温老化下甜玉米种子活力近红外光谱检测技术研究[J]. 核农学报, 2018, 32(8): 1611-1618
- [7] 郝楠,王建华,李月明,毕文博,马云祥,叶雨盛,王国宏,孙楠,王延波. 不同生态区域玉米种子收获期与种子活力关系研究[J]. 玉米科学, 2016, 24(6): 61-66
- [8] 付爱斌,曹文亮,肖层林. 两系杂交早稻陆两优 996 制种适宜收获期研究[J]. 杂交水稻, 2009, 24(4): 15-18
- [9] 何艳晴. 不同生产地点对常规稻种子活力形成的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017
- [10] 樊廷录,王淑英,王建华,杨珍. 河西制种基地玉米杂交种种子成熟期与种子活力的关系[J]. 中国农业科学, 2014, 47(15): 2960-2970

- [11] 周海宁, 雷志刚, 韩登旭, 杨杰, 阿布来提, 李铭东, 王业建, 郝浩江, 梁晓玲, 孔广超. 玉米杂交种种子活力与成熟度关系[J]. 玉米科学, 2016, 24(3): 110-116
- [12] 温云杰, 李桂花, 黄金莉, 刘云霞, 高翔, 汪洪. 连续流动分析仪与自动凯氏定氮仪测定小麦秸秆全氮含量之比较[J]. 中国土壤与肥料, 2015, 260(6): 152-157
- [13] 尹燕樾. 种子学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008
- [14] 王国槐. 农学实践[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2004
- [15] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1992
- [16] 蒋敏明. 杂交水稻高活力种子适宜收获期的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015
- [17] Fu H, Cao D D, Hu W M, Guan Y J, Fu Y Y, Fang Y F, Hu J. Studies on optimum harvest time for hybrid rice seed[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(4): 1124-1133
- [18] Finch-Savage W E, Bassel G W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation[J]. Journal of Experimental Botany, 2016, 67(3): 567-591
- [19] 杨建昌. 水稻弱勢粒灌浆机理与调控途径[J]. 作物学报, 2010, 36(12): 2011-2019
- [20] 沈直, 唐设, 张海祥, 陈文珠, 丁艳锋, 王绍华. 灌浆期开放式增温对水稻强势粒和弱勢粒淀粉代谢关键酶相关基因表达水平的影响[J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(6): 898-906
- [21] 李杰, 张洪程, 龚金龙, 常勇, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕, 高辉. 不同种植方式对超级稻籽粒灌浆特性的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(9): 1631-1641
- [22] Wang Y. Effectiveness of supplied nitrogen at the primordial panicle stage on rice characteristics and yields[J]. International Rice Research Newsletter, 1981, 6(4): 23-24
- [23] Murty P S S, Murty K S. Spikelet sterility in relation to nitrogen and carbohydrate contents in rice[J]. Indian Journal of Plant Physiology, 1982, 25: 40-48
- [24] 刘莉莉. 超级杂交稻光合作用及其同化产物运转分配特性研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008
- [25] Kato T. Effect of spikelet removal on the grain filling of Akenohoshi, a rice cultivar with numerous spikelets in a panicle[J]. The Journal of Agricultural Science, 2004, 142(2): 177-181
- [26] Yang J C, Zhang J H, Wang Z Q, Liu K, Wang P. Post-anthesis development of inferior and superior spikelets in rice in relation to abscisic acid and ethylene[J]. Journal of Experimental Botany, 2006, 57(1): 149-160
- [27] 李磊. 水分及水氮互作对水稻库容的影响效应及其机制研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2010
- [28] Ishimaru T, Hirose T, Goto A, Takahashi K, Sasaki H, Terao T, Ishii R, Ohsugi R, Yamagishi T. Expression patterns of genes encoding carbohydrate-metabolizing enzymes and their relationship to grain filling in rice (*Oryza sativa* L.): Comparison of caryopses located at different positions in a panicle[J]. Plant and Cell Physiology, 2005, 46(4): 620-628
- [29] Dai Z M, Wang Z L, Zhang M, Li W Y, Yan S H, Cai R G, Yin Y P. Starch accumulation and activities of enzymes involved in starch synthesis in grains of wheat grown under irrigation and rain-fed conditions[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 46(5): 34-37
- [30] 徐云姬, 顾道健, 秦昊, 张耗, 王志琴, 杨建昌. 玉米灌浆期果穗不同部位籽粒碳水化合物积累与淀粉合成相关酶活性变化[J]. 作物学报, 2015, 41(2): 297-307

Effects of Yellow-seed Percentage on Seed Vigor in Hybrid Rice Seed Production

WANG Xiaomin TANG Qiyuan* ZHENG Huabin MO Wenwei YANG Jianbo

(College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128)

Abstract: The objective of this study was to seek effect of yellow-seed percentage on seed vigor, and determine the optimum harvesting time of hybrid rice seed based on sensory index. Field experiments were conducted with varieties Shenliangyou1813, Longliangyou1813, Yliangyou1128, Chuangliangyouhuazhan, II you838, and seed vigor, moisture content, 1000-grain weight and storage substance content were measured among different yellow-seed percentage populations constructed by different harvesting time. The results revealed that a significant difference was observed in the increasing rate of yellow-seed percentage among different varieties. With the increasing of yellow-seed percentage, seed vigor increased firstly and then kept stable while seed moisture decreased firstly and then kept stable. Additionally, 1000-grain weight increased gradually, but an insignificant difference was observed. Moreover, seed amylose content, total starch content, protein content and soluble sugar content increased firstly and then kept stable. When the yellow-seed percentage ranged from 75% to 90%, germination percentage, germination energy, germination index and vigor index kept at high level, and an insignificant difference was obtained in both seed moisture and 1000-grain weight. Moreover, a significantly positive correlation was observed between yellow-seed percentage and germination percentage and vigor index ($R^2=0.8703^{**}$ and $R^2=0.6640^{**}$, respectively). A significantly negative correlation was obtained between yellow-seed percentage and seed moisture ($R^2=0.8424^{**}$), and there was no obvious correlation between yellow-seed percentage and 1000-grain weight ($R^2=0.1972$). There was no correlation between yellow-seed percentage and storage substance content, but a significant correlation was obtained between seed vigor and storage substance content. Therefore, yellow-seed percentage (75% ~ 90%) could be recommended as sensory index predicting the optimum harvesting time during hybrid rice seed production with high vigor. Moreover, these results in this study provided references for hybrid rice seed production with high vigor.

Keywords: yellow-seed percentage, seed vigor, hybrid rice, seed production