

不同灌水方式对水稻籽粒灌浆特性的影响*

张荣萍¹, 马 均², 王贺正², 李 艳², 李旭毅², 汪仁全²

(1. 西昌学院, 四川 西昌 615013; 2. 四川农业大学水稻研究所, 四川 温江 611130)

【摘 要】选用杂交水稻冈优 527、D 优 363 和汕优 63 为材料,应用 Richards 方程对四种灌水方式的籽粒灌浆过程进行拟合,研究了水稻的灌浆特性的差异。结果表明:湿润灌溉与“湿、晒、浅、间”灌溉方式(简称 C 处理)两种灌水方式由于强弱势粒在整个灌浆期内的灌浆速率较高,有利于籽粒的灌浆和充实,提高了结实率和千粒重,因而其产量较高;而早种下强弱势粒在整个灌浆期内的灌浆速率低,从而影响其籽粒尤其是弱勢粒的灌浆,降低了结实率和千粒重,从而导致减产。

【关键词】水稻;灌水方式;灌浆;生长分析

【中图分类号】S511.071 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2007)04-0023-05

我国水资源短缺,而水稻又是农业耗水大户,占全国总用水量的 54% 左右,占农业用水量的 65% 以上^[1]。因此,水稻节水不仅对保证我国粮食安全,而且对我国社会的可持续发展具有重大意义。近年来,水稻节水栽培技术研究备受关注^[2-4]。前人研究认为,水分胁迫下水稻往往由于结实率和粒重降低而使产量下降^[5]。水稻籽粒的灌浆过程决定了水稻最终的粒重和产量乃至品质^[6-7]。水稻籽粒的灌浆特性主要受遗传因素控制,但同时也在一定程度上受环境条件的影响,且基因型与环境之间还存在一定互作^[8-9]。前人有关籽粒灌浆特性的研究有较多报道^[10-12],但较多是研究结实期水分胁迫对籽粒灌浆特性的影响,而生育期内不同灌水方式对籽粒灌浆的研究较少。本研究根据水稻需水规律和生产实际,设置了 4 种不同的灌水方式,旨在探讨不同灌水方式下水稻籽粒的灌浆特性,以期为发展水稻节水农业提供理论和实践依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料:

供试品种为杂交稻冈优 527、D 优 363 和汕优 63。

1.2 试验方法

试验于 2005 年在四川温江四川农业大学水稻研究所进行。试验田为冬闲田,土壤为沙壤土,土壤肥力中等。4 月 11 日播种,采用地膜育秧,5 月 11 日移栽,移栽时叶龄为 5~6 叶。试验采用裂区设计,灌溉方式为主区,品种为副区。小区面积 13m²,移栽规格 16.7 cm × 33.3 cm,每穴单株,3 次重复。试验设 4 个处理:

A 处理:早种。水稻返青成活后至成熟期全生育期内旱管理,仅在分蘖盛期、孕穗期、开花期和灌浆盛期各灌一次透水,以不积水为准,其余时间靠降雨不灌水。

B 处理:湿润灌溉。水稻返青成活后至成熟期内田面不保持水层,土壤含水量为饱和含水量的 70%~80% (烘干法测定),无效分蘖期“够苗”晒田。

C 处理:“湿、晒、浅、间”灌溉方式[湿润灌溉(移栽至孕穗前)+浅水灌溉(孕穗期)+干湿交替灌溉(抽穗至成熟期)]。水稻返青成活后至孕穗前田面不保持水层,土壤含水量为饱和含水量的 70%~80% (烘干法测定),无效分蘖期“够苗”晒田,孕穗期土表保持 1~3 cm 水层,抽穗至成熟期采用灌透水、自然落干的干湿交替灌溉。

D 处理:淹水灌溉(作为对照处理)。水稻移栽后田面一直保持 1~3cm 水层,收获前 1 周自然落干。大田生产期间田间管理按大面积生产。

收稿日期 2007-09-11

*基金项目:国家“863”计划(2002AA2Z4011)国家粮食丰产科技工程项目(2004BA520A05)四川省教育厅重点项目资助。

作者简介:张荣萍(1980-),女,云南建水人,硕士研究生,助教,主要从事栽培生理研究。

1.3 测定项目

1.3.1 籽粒灌浆：每处理于抽穗期选取同日始穗的单茎穗 120 个，抽穗开花后至成熟期（每隔 5 d）取标记穗 6 穗，分别摘下强势粒（从上而下，最上面的三个 1 次枝梗上的所有籽粒）、弱势粒（从下而上，最下面的三个 1 次枝梗上所有 2 次枝梗上除顶端第一粒的籽粒），剔除未受精的空粒后，去壳烘干称重。参照朱庆森 [8] 等方法，应用 Richards 方程配合籽粒增重过程，计算相应的灌浆参数。

1.3.2 成熟期田间调查有效穗，每小区按平均每窝有效穗数取 5 株考种，并按实收小区产量计产。

所测数据在 Excell、Spss 软件中进行分析和处理。

2 结果与分析

2.1 不同灌水方式对水稻产量及其构成的影响

不同灌水方式的稻谷产量 C B D A 处理，处理间差异显著（表 1）。不同灌水方式对产量构成因素的影响，主要表现在穗部性状上。与 D 处理相比，C 处理产量构成比较合理，有效穗、每穗粒数、结实率和千粒重分别高 9.15% ~ 12%、5.79% ~ 8.11%、4.66% ~ 6.04% 和 2.92% ~ 3.56%，且差异均达显著水平。B 处理产量构成各项因素均比 D 处理略高，有效穗和结实率差异显著，每穗粒数和千粒重差异不显著。A 处理产量构成各因素均比 D 处理显著降低。说明 B、C 处理有利于增加有效穗，提高结实率和千粒重，获得高产，但 C 处理增产效应比 B 处理强；A 处理降低了产量构成各项因素，导致减产。

2.2 不同灌水方式对水稻籽粒灌浆的影响

2.2.1 籽粒增重动态和籽粒灌浆特征

表 1 不同灌水方式的产量及其构成

品种	处理	有效穗	每穗粒数	结实率	千粒重	产量
冈优 527	A	185.13c	150.89c	68.33c	27.54c	5.20d
	B	246.72a	179.21ab	74.63a	28.76b	9.11b
	C	251.20a	185.10a	75.70a	29.40a	9.75a
	D	224.28b	171.22b	71.39b	28.39b	7.76c
D 优 363	A	179.80c	144.18c	67.75c	26.64c	4.39d
	B	238.12a	167.00ab	73.6a	28.19a	7.89b
	C	240.60a	173.11a	74.30a	28.58a	8.46a
	D	219.38b	160.66b	70.99b	27.77b	6.74c
汕优 63	A	170.12c	135.02c	66.23c	26.03c	3.90d
	B	226.08a	162.21ab	71.67a	27.54b	7.16b
	C	229.21a	167.12a	73.17a	28.10a	7.69a
	D	210.00b	157.98b	69.72b	27.17b	6.17c

对不同灌水方式的籽粒灌浆特征，用 Richards 方程 $W = A / (1 + Be^{-kt})^{1/N}$ 进行配合，结果表明各方程的决定系数 (R^2) 均在 0.90 以上，说明不同灌水方式下水稻籽粒的灌浆过程均可用 Richards 模型来拟合，且配合度高。其 Richards 方程的籽粒增重参数和次级参数列于表 2，从表 2 可知，不同灌水方式的最终生长量 A，强、弱势粒均是 C > B > D > A 处理，且强势粒明显大于弱势粒。起始生长势 R_0 强势粒为 0.197 ~ 0.523d，均明显高于对应的弱势粒，弱势粒 R_0 C > B > D > A 处理。 R_0 反映的是受精子房的生长潜势，与籽粒生长初期的生长速率有密切关系。可见，A 处理具有较低的生长潜势，可能是其籽粒灌浆充实差的一个原因。达最大生长速率的时间 T_{max} ，各处理的强势粒之间差异较小，多在

8.771 ~ 11.92d，而不同灌水处理弱势粒之间差距较大，其中以 D 处理到达的时间最长，为 18.935 ~ 19.192d，A 处理次之，C 处理最短，仅 14.125 ~ 14.730 d。最大生长速率的 G_{MAX} ，不同灌水方式之间强、弱势粒均是 C > B > D > A 处理，强、弱势粒之间的差距是 B > C > D > A 处理。平均生长速率 G_{mean} ，强势粒明显高于弱势粒，强、弱势粒均是 C > B > D > A 处理。可见，D 和 A 处理的弱势粒灌浆速率上升缓慢，且最大速率和平均速率值较小。不同灌水处理强势粒的生长活跃期 D 均较短，为 10.49 ~ 22.024 d，而弱势粒均较长，其中以 A 处理最长，为 26.774 ~ 30.305 d，D 处理次之，C 处理最短，仅为 17.319 ~ 18.938 d。说明弱势粒特别是 A 处理的弱势粒灌浆时间均比相应的强势粒长。

结合籽粒增重与灌浆速率,可以看出所有不同灌水方式的强、弱勢粒的 N 值均大于 1,且强势粒的 N 值均小于弱勢粒,表现为强势粒灌浆前期生长迅速,启动灌浆和达到最大灌浆速率的时间早,而弱勢粒在不同灌水方式间表现出明显的差异。

2.2.2 不同籽粒灌浆阶段的籽粒灌浆特征

由表 3 可知,不同灌水方式下强弱勢籽粒相比较,强势粒前期、中期经历的天数 T_1 、 T_2 均比对应的弱勢粒短,前、中期的灌浆速率 G_1 、 G_2 则比对应的弱勢粒高。说明强势粒较早进入灌浆盛期,且前中期灌浆速率较高,而弱勢粒较迟进入灌浆盛期,且前中期灌浆速率较低,仅在生长后期仍有一定的灌浆速率。籽粒灌浆过程前、中、后期对灌浆的贡献分别约占 26.53%、56.04%、17.43%,其相对比值在强弱勢粒之间相差不大,但各阶段所需的时间有较大差异。不同灌水方式弱勢粒的 T_1 值均较大, $D > A >$

$B > C$ 处理;强弱勢粒间 T_1 值差距为 3.836 ~ 5.949d,说明三个品种不同灌水方式下的灌浆均为异步灌浆型。

3 讨论

籽粒产量的提高在库容量形成以后,主要依赖于籽粒的灌浆快慢与充实程度。关于籽粒灌浆过程的分析,朱庆森、曹显祖等认为用 Richards 方程 $W = A / (1 + Be^{-kt})^{1/N}$ 来分析更为合适^[8],这一分析方法已为众多研究者所采用,已成为目前比较公认和常用的籽粒增重分析法。水稻粒重的大小决定于灌浆速率和灌浆时间。一些研究表明^[5,12],在含水量较低的土壤条件下,粒重尤其是穗下部籽粒(弱勢粒)的粒重明显下降。蔡永萍^[11]等认为旱作水稻灌浆期剑叶早衰,光合性能下降是导致籽粒灌浆速率低,灌浆

表 2 不同灌水方式下水稻籽粒灌浆特征参数

品种	处理	粒位	A(g/百粒)	N	R ²	起始势 R ₀	G _{max} (g/百粒·d)	T _{max} (d)	D(d)	G _{max} (g/百粒·d)
冈优 527	A	强	2.307	1.660	0.981	0.227	0.181	10.590	19.468	0.101
		弱	1.570	1.735	0.912	0.161	0.090	17.867	26.774	0.046
	B	强	2.37	1.300	0.943	0.442	0.312	9.710	11.478	0.134
		弱	1.829	1.607	0.990	0.225	0.140	15.203	19.983	0.066
	C	强	2.475	1.147	0.912	0.523	0.355	8.771	10.490	0.151
		弱	2.158	1.334	0.965	0.289	0.189	14.125	17.319	0.083
	D	强	2.341	1.432	0.978	0.381	0.283	11.341	12.571	0.119
		弱	1.768	1.556	0.961	0.220	0.130	18.935	20.735	0.055
D 优 363	A	强	2.151	1.542	0.954	0.225	0.160	10.901	20.415	0.089
		弱	1.454	1.697	0.997	0.158	0.081	18.036	27.570	0.041
	B	强	2.352	1.324	0.916	0.422	0.299	9.842	11.893	0.130
		弱	1.750	1.647	0.953	0.213	0.128	15.655	20.840	0.061
	C	强	2.398	1.181	0.923	0.501	0.336	8.936	10.747	0.144
		弱	1.900	1.727	0.945	0.252	0.170	14.546	17.136	0.076
	D	强	2.296	1.427	0.975	0.341	0.247	11.842	14.103	0.108
		弱	1.690	1.602	0.997	0.196	0.112	19.192	22.943	0.050
汕优 63	A	强	2.154	1.711	0.931	0.197	0.149	11.022	22.024	0.087
		弱	1.262	1.576	0.909	0.150	0.063	18.287	30.305	0.033
	B	强	2.302	1.356	0.987	0.392	0.276	9.880	12.617	0.124
		弱	1.767	1.497	0.993	0.203	0.117	15.880	23.007	0.057
	C	强	2.328	1.251	0.969	0.444	0.300	9.164	11.715	0.133
		弱	1.844	1.655	0.992	0.233	0.149	14.730	18.938	0.069
	D	强	2.282	1.490	0.949	0.305	0.226	11.921	15.341	0.104
		弱	1.666	1.471	0.961	0.178	0.096	18.890	26.496	0.046

期短,粒重和产量下降的重要原因。本研究结果表明,不同灌水方式下的灌浆均属异步灌浆型。不同灌水方式下强势粒灌浆特性差异较小:C处理灌水方式下其灌浆启动快,平均生长和各时期灌浆速率最高,到达最大灌浆速率的时间最短;湿润灌溉与C处理灌水方式相似,但各灌浆特性略低,而旱种具有较低的生长潜势,平均灌浆速率低,可能是其籽粒灌浆充实差的一个原因。不同灌水方式下弱势粒灌浆特性差异较大:旱种下弱势粒在水稻开花后相当长的时间内处于基本停滞状态,待强势粒基本结束后

才开始灌浆,且后期灌浆速率较低,其生长活跃期长达 26.774~30.305d;而湿润灌溉方式与C处理灌水方式下弱势粒灌浆速率较淹水方式高,其生长活跃期也比淹水方式略短。说明湿润灌溉与C处理两种灌水方式由于强弱势粒在整个灌浆期内的灌浆速率较高,有利于籽粒的灌浆和充实,对提高籽粒结实率和千粒重有十分重要的作用,因而其产量较高,而旱种下强弱势粒在整个灌浆期内的灌浆速率低,从而影响其籽粒尤其是弱势粒的灌浆和充实,降低了结实率和千粒重,成为其减产的主要原因之一。

表 3 不同灌水方式下水稻不同粒位前、中、后期持续天数、平均速率及贡献率

品种	处理	粒位	前期			中期			后期			
			天数(d)	平均速率 (g/百粒·d)	%	天数(d)	平均速率 (g/百粒·d)	%	天数(d)	平均速率 (g/百粒·d)	%	
冈 优 527	A	强	6.629	0.042	28.105	7.922	0.069	55.297	8.251	0.020	16.598	
		弱	12.465	0.023	28.782	10.803	0.050	54.960	11.055	0.015	16.258	
	B	强	7.276	0.033	24.611	4.868	0.116	56.941	5.555	0.033	18.449	
		弱	11.112	0.025	27.616	8.181	0.067	55.537	8.630	0.019	16.847	
	C	强	6.507	0.035	22.990	4.528	0.126	57.645	5.393	0.036	19.365	
		弱	10.467	0.024	24.959	7.316	0.077	56.784	8.273	0.022	18.257	
	D	强	8.716	0.029	25.941	5.251	0.106	56.334	5.786	0.030	17.725	
		弱	14.665	0.018	27.138	8.539	0.065	55.768	9.119	0.019	17.094	
	D 优 363	A	强	6.691	0.040	27.005	8.420	0.066	55.832	9.024	0.019	17.163
			弱	12.446	0.023	28.441	11.180	0.049	55.131	11.543	0.014	16.428
		B	强	7.327	0.034	24.857	5.030	0.112	56.830	5.702	0.032	18.313
			弱	11.408	0.024	27.986	8.493	0.065	55.356	8.873	0.019	16.659
C		强	6.626	0.035	23.357	4.621	0.123	57.489	5.450	0.035	19.154	
		弱	11.086	0.026	28.710	6.920	0.079	54.996	7.095	0.023	16.293	
D		强	8.895	0.029	25.892	5.894	0.095	56.357	6.503	0.027	17.751	
		弱	14.493	0.019	27.570	9.398	0.059	55.559	9.925	0.017	16.871	
汕 优 63		A	强	6.564	0.043	28.567	8.911	0.061	55.068	9.169	0.018	16.365
			弱	12.062	0.022	27.327	12.451	0.044	55.677	13.233	0.013	16.996
		B	强	7.222	0.035	25.182	5.316	0.106	56.683	5.976	0.030	18.134
			弱	11.111	0.024	26.575	9.538	0.058	56.037	10.338	0.017	17.388
	C	强	6.666	0.036	24.101	4.997	0.113	57.167	5.779	0.032	18.733	
		弱	10.874	0.026	28.059	7.711	0.071	55.320	8.040	0.020	16.621	
	D	强	8.737	0.030	26.507	6.365	0.087	56.069	6.911	0.025	17.424	
		弱	13.381	0.019	26.323	11.018	0.050	56.156	12.021	0.014	17.521	

致谢 本文撰写得到了西昌学院郑传刚老师的悉心指导,在此表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1]程旺大,赵国平,王岳均,等.浙江省发展水稻节水高效栽培技术的探讨[J].农业现代化研究,2000,21(3):197-200.
- [2]曾翔,李阳生,谢小立,等.不同灌溉模式对杂交水稻生育后期根系生理特性和剑叶光合特性的影响[J].中国水稻科

- 学, 2003, 17(1): 355 - 359.
- [3] 杨建昌, 王志琴, 朱庆森. 水稻品种的抗旱及其生理特性的研究[J]. 中国水稻科学, 1995, 28(5): 65 - 72.
- [4] 司徒淞, 张薇. 稻田高产节水灌溉方式的研究[J]. 中国水稻科学, 1991, 5(3): 127 - 132.
- [5] 王维, 蔡一萍, 张祖建, 等. 结实期低土壤水势对水稻强弱势粒灌浆特性及主要灌浆性状的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(9): 170 - 173.
- [6] 张佩莲, 钟旭华, 曾宪江, 等. 穗上不同部位籽粒的稻米垩白度差异的研究[J]. 江西农业大学学报, 1995, 17(4): 396 - 399.
- [7] 谢光辉, 杨建昌, 王志琴, 等. 水稻籽粒灌浆特性及其与籽粒胜利活性的关系[J]. 作物学报, 2001, 27(5): 557 - 565.
- [8] 朱庆森, 曹显祖, 骆亦骥. 水稻籽粒灌浆的生长分析[J]. 作物学报, 1988, 14(3): 182 - 192.
- [9] 杨福, 宋慧, 崔喜艳, 等. 不同品质粳稻垩白动态形成与籽粒后期灌浆呼吸速度的变化[J]. 植物生理学报, 1964, 增刊(1): 252 - 264.
- [10] 朱庆森, 黄丕生. 水稻节水栽培研究论文集[C]. 中国农业科技出版社, 1988.
- [11] 顾世梁, 朱庆森, 杨建昌, 等. 不同水稻籽粒灌浆特性分析[J]. 作物学报, 2001, 27(1): 7 - 11.
- [12] 程旺大, 赵国平, 张国平, 等. 水稻和陆稻籽粒灌浆特性的比较[J]. 中国水稻科学, 2002, 16(4): 335 - 340.
- [13] 蔡永平, 杨其光, 黄义德. 水稻水作与旱作对抽穗后剑叶光合特性、衰老及根系活性的影响[J]. 中国水稻科学, 2000, 14(4): 219 - 224.

Effects of Different Irrigation Methods on the Grain—filling Properties of Paddy Rice

ZHANG Rong - ping¹, MA Jun², WANG He - zheng², LI Yan², LI Xu - yi², WANG Ren - quan²

(1. Xichang College, Xichang, Sichuan 615013;

2. Rice Research Institute of Sichuan Agricultural University, Wenjiang, Sichuan 611130)

Abstract: The grain - filling properties of three paddy rice of Gangyou 527, Dyou 363 and Shanyou 63 under four different irrigation methods were fitted by Richards growth equation to study the differences in grain - filling properties. The results indicated that, compared with submerged irrigation, damp irrigation and the treatment C (controlled damp irrigation before booting stage, rational irrigation at booting stage, wetting - drying alternation irrigation from heading stage to mature stage) had higher grain - filling rate, and were favorable to grain - filling and the enhancement of seed setting rate, 1000 - grain weight and grain yield. But dry cultivation had lower grain - filling rate that had a negative effect on grain - filling, especially weak potential grain - filling. Dry cultivation decreased seed setting rate and 1000 - grain weight, which led to low grain yield.

Key words: Paddy rice ; Irrigation methods ; Grain filling ; Growth analysis

(责任编辑 张俊之)

(上接 19 页)

influence the indexes above. Different PEG consistencies notably influence the prouting rate, but not notably influence the prouting potentialities and sprouting index. Among them the sprouting temperature of 15°C and PEG consistency of 5% are the most desirable sprouting temperature and PEG consistency.

Key words: Fagopyrum dibotrys seeds; Temperature ; Polyethylene glycol(PEG); Sprouting rate; Sprouting potentialities; Sprouting index

(责任编辑 张荣萍)