

# 灌浆期淹水对小麦籽粒胚乳淀粉粒度分布的影响

付立冬<sup>1,2</sup> 贺江<sup>1,2</sup> 闫素辉<sup>1</sup> 许峰<sup>1</sup> 邵庆勤<sup>1</sup> 张从宇<sup>1</sup> 李文阳<sup>1</sup>

(1. 安徽科技学院 农学院, 安徽 凤阳 233100; 2. 扬州大学 农学院, 江苏 扬州 225000)

**摘要** 为探讨灌浆期淹水对小麦胚乳淀粉粒度分布的影响,以烟农 19 和偃展 4110 为材料,于籽粒灌浆期进行淹水处理,分析其对小麦胚乳淀粉粒分布的影响。结果表明,灌浆期淹水显著降低小麦籽粒粒重、淀粉含量与积累量。与对照相比,灌浆期淹水显著降低小麦籽粒 B 型( $<10\ \mu\text{m}$ )淀粉粒体积百分比,增加 A 型( $>10\ \mu\text{m}$ )淀粉粒体积百分比,进一步分析,淹水显著降低 B 型淀粉粒中 5-10  $\mu\text{m}$  淀粉粒组与 A 型淀粉粒中  $>22\ \mu\text{m}$  淀粉粒组体积百分比,可见灌浆期淹水不利于 B、A 型淀粉粒个体体积的增大。灌浆期淹水对籽粒 B、A 型淀粉粒数目百分比无显著影响,但显著降低 B 型淀粉粒中  $<0.52\ \mu\text{m}$  淀粉粒数目百分比。可见淹水不利于小淀粉粒的产生以及淀粉粒个体体积的增大与数目的增加。

**关键词** 小麦; 淀粉粒; 粒度分布; 淹水

**中图分类号** S512.1+2

**文献标识码** A

## 0 引言

沿淮地区春季受南方暖气团和北方冷气团相互作用,引发的持续性降雨是小麦生育后期主要的气象灾害之一<sup>[1,2]</sup>。灌浆期涝害加速了叶片光合性能的下降和叶片衰老,导致灌浆周期缩短,灌浆速率降低<sup>[3]</sup>。另有研究表明灌浆期淹水导致旗叶细胞内活性氧的生成与清除平衡遭到破坏,引起自由基积累和膜脂过氧化,使膜系统的结构和功能受到损伤,从而造成植物细胞的伤害,影响清除自由基的能力,加速旗叶衰老,最终导致粒重下降及产量的大幅降低<sup>[4-7]</sup>。小麦产量与土壤含水量呈线性关系,随土壤含水量的增加而增加,但当含水量达到一定数值后,产量反而下降<sup>[8,9]</sup>。

淀粉是小麦籽粒的主要构成部分,占籽粒干重的 70%,以粒径大小不同的颗粒态形式存在于胚乳中。研究表明,小麦的成熟胚乳中 A 型淀粉粒( $>10\ \mu\text{m}$ )占淀粉总量的 80%,但淀粉粒数目较少;B 型淀粉粒 $<10\ \mu\text{m}$  数目较多( $<10\ \mu\text{m}$ )占淀粉粒总数目的 95%。A 型淀粉粒形成于开花后 4 d 左右的淀粉体,B 型淀粉粒来源于开花后的 12-14 d 左右的淀粉体。淀粉粒数目、体积、表面积分布是决定小麦品质的重要因素。小麦籽粒发育进程中,氮肥、干旱、弱光等栽培环境条件显著影响小麦籽粒淀粉的积累,并且对淀粉粒度分布亦有一定的调节效应<sup>[10-13]</sup>。但渍涝逆境对小麦淀粉形成与粒度分布的研究报道尚少。本研究以烟农 19 和偃展 4110 为材料,在盆栽条件下对小麦进行淹水处理,分析小麦籽粒灌浆阶段淹水对胚乳淀粉粒粒度分布的影响,以为小麦抗逆栽培与改善籽粒淀粉品质提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计与材料

试验于 2015 年 10 月-2016 年 5 月年在安徽科技学院农场进行,采用规格相同塑料盆(上口内径 24 cm、下口内径 16 cm、深度 18 cm)进行盆栽试验,每盆装土 6 kg。供试材料为烟农 19 和偃展 4110,试验设 2 个处

收稿日期:2018-12-26

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD0300902,2017YFD0301301);国家星火计划项目(2015GA710018);安徽自然科学基金项目(1408085MC48, 1408085QC54)资助

通信作者:李文阳,男,汉族,博士,教授,研究方向:作物高产优质栽培,E-mail:liwy@ahstu.edu.cn.

理:正常供水(对照,用 Control 表示,土壤相对含水量 75%左右),灌浆期淹水(用 WL 表示,土表以上保持水层 5 cm 左右). 在小麦籽粒灌浆阶段(5 月 1 日-5 月 12 日)进行淹水处理. 每处理 20 盆,每盆在三叶一心时定植 10 株,其他管理同一般小麦生产田. 成熟时收获,用于淀粉含量测定与粒度分析.

## 1.2 测定项目和方法

1.2.1 淀粉含量测定. 参照双波长比色法<sup>[14]</sup>.

1.2.2 淀粉粒提取与粒度分析. 淀粉粒提取参考 Peng 等<sup>[15]</sup>的方法,并加以修改:取 5g 小麦籽粒于蒸馏水中,静置 20 h 后加入 25 mL、0.6 mol/L 的 NaCl,低温静置 40 h 后去除种皮,研磨,直到有面筋析出,随后用 200 目筛子过滤,将滤液离心 10 min,再过滤. 沉淀分别用 2% SDS、0.2% NaOH 溶液冲洗,最后用丙酮冲洗多次,室温晾干,−20 °C 贮藏备用. 用美国贝克曼库尔特公司的 LS13320 激光衍射粒度分析仪进行粒径分析<sup>[16]</sup>.

## 1.3 数据统计与分析

采用 Microsoft Excel2010、DPS(Data Processing System) 7.05 进行数据处理与分析.

# 2 结果与分析

## 2.1 淹水对淀粉含量与积累量的影响

由表 1 可以看出,小麦籽粒灌浆期淹水显著降低粒重、淀粉含量与积累量,2 品种表现一致,其中淹水处理籽粒重、淀粉积累量较对照降幅分别为 15.2%、17.9%(烟农 19)和 18.1%、23.7%(偃展 4110).

表 1 灌浆期淹水对小麦籽粒淀粉含量与积累量的影响

品种	处理	籽粒重/mg · grain <sup>-1</sup>	淀粉含量/%	淀粉积累量/mg · grain <sup>-1</sup>
烟农 19	对照 Control	34.21±0.31 <sup>b</sup>	65.75±0.58 <sup>a</sup>	22.49±0.35 <sup>b</sup>
Yannong19	淹水 WL	29.01±0.32 <sup>c</sup>	63.64±0.4 <sup>b</sup>	18.46±0.17 <sup>d</sup>
偃展 4110	对照 Control	42.21±0.81 <sup>a</sup>	66.59±0.28 <sup>a</sup>	28.11±0.59 <sup>a</sup>
Yanzhan4110	淹水 WL	34.57±0.49 <sup>b</sup>	62.07±0.2 <sup>c</sup>	21.46±0.37 <sup>c</sup>

注:同一列品种内不同小写字母表示 5% 水平差异显著,下同.

## 2.2 淹水对淀粉粒体积分布的影响

2 品种不同处理淀粉体积分布均呈双峰曲线变化,峰值分别出现在 4.88-6.45 μm 和 21.27-22.54 μm (图 1),淀粉粒最大粒径约为 40 μm,低谷值出现在 10 μm 左右. 灌浆期淹水对籽粒淀粉粒体积分布具有显著影响. 灌浆期淹水显著降低 2 品种籽粒 B 型(<10 μm)淀粉粒体积百分比,进而增加 A 型(>10 μm)淀粉粒体积百分比(表 2). 以 5 μm、22 μm 为界,将 B、A 型淀粉粒进一步分别划分为 <5 μm、5-10 μm 和 10-22 μm、>22 μm 淀粉粒组,灌浆期淹水主要降低了 5-10 μm 和 >22 μm 淀粉粒体积百分比. 可见灌浆期淹水不利于 B、A 型淀粉粒个体体积的增大.

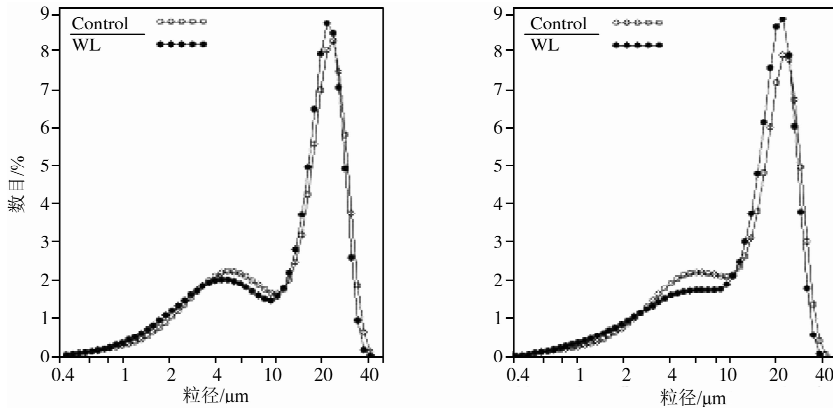


图 1 烟农 19(左)与偃展 4110(右)成熟期籽粒淀粉粒体积分布

表 2 灌浆期淹水对小麦淀粉粒的体积分布的影响

品种	处理	淀粉粒直径 / $\mu\text{m}$					
		<5	5-10	<10	10-22	>22	>10
烟农 19	对照 Control	21.25 $\pm$ 0.21 <sup>b</sup>	15.2 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	36.45 $\pm$ 0.35 <sup>a</sup>	32.2 $\pm$ 0 <sup>d</sup>	31.35 $\pm$ 0.35 <sup>a</sup>	63.55 $\pm$ 0.35 <sup>c</sup>
Yannong19	淹水 WL	22.40 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>	13.2 $\pm$ 0 <sup>d</sup>	35.60 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	36.2 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>	28.2 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	64.4 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>
偃展 4110	对照 Control	18.90 $\pm$ 0.14 <sup>c</sup>	16.36 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	35.26 $\pm$ 0.34 <sup>b</sup>	36.64 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>	28.1 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	64.74 $\pm$ 0.34 <sup>b</sup>
Yanzhan4110	淹水 WL	18.75 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>	13.5 $\pm$ 0 <sup>c</sup>	32.25 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>	43.4 $\pm$ 0 <sup>a</sup>	24.35 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>	67.75 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>

2.3 淹水对淀粉粒表面积分布的影响

2 品种不同处理淀粉粒表面积分布均呈双峰曲线变化,峰值分别出现在 2.11-3.36  $\mu\text{m}$  和 19.76-21.7  $\mu\text{m}$ (图 2),低谷出现在 10  $\mu\text{m}$  左右.灌浆期淹水对籽粒淀粉粒表面积分布具有显著影响.灌浆期淹水降低偃展 4110 籽粒 B 型(<10  $\mu\text{m}$ )淀粉粒组表面积百分比,进而显著增加 A 型(>10  $\mu\text{m}$ )淀粉粒表面积百分比(表 2).其中灌浆期淹水主要降低了 5-10  $\mu\text{m}$  淀粉粒表面积百分比.

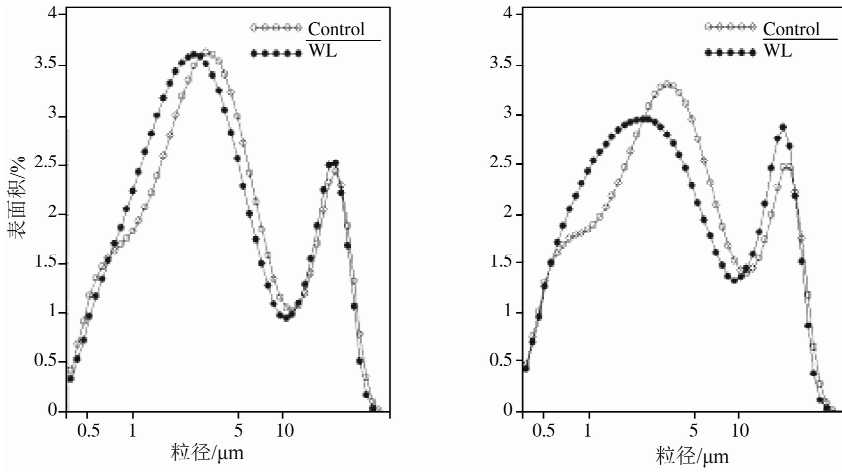


图 2 烟农 19(左)与偃展 4110(右)成熟期籽粒淀粉粒表面积分布

表 3 灌浆期淹水对小麦淀粉粒的表面积分布的影响

品种	处理	淀粉粒直径 / $\mu\text{m}$					
		<5	5-10	<10	10-22	>22	>10
烟农 19	对照 Control	63.85 $\pm$ 0.21 <sup>b</sup>	15.2 $\pm$ 0 <sup>a</sup>	79.05 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>	10.95 $\pm$ 0.07 <sup>d</sup>	90.00 $\pm$ 0.14 <sup>d</sup>	20.95 $\pm$ 0.21 <sup>d</sup>
Yannong19	淹水 WL	66.55 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	12.55 $\pm$ 0.21 <sup>b</sup>	79.2 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>	11.55 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>	90.75 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>	20.8 $\pm$ 0.14 <sup>c</sup>
偃展 4110	对照 Control	60.20 $\pm$ 0.14 <sup>d</sup>	16.75 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>	76.95 $\pm$ 0.21 <sup>b</sup>	13.40 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	90.35 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>	23.05 $\pm$ 0.21 <sup>b</sup>
Yanzhan4110	淹水 WL	62.65 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>	13.1 $\pm$ 0 <sup>d</sup>	75.75 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>	15.40 $\pm$ 0 <sup>a</sup>	91.15 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	24.25 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>

2.4 淹水对淀粉粒数目分布的影响

小麦籽粒淀粉粒数目呈单峰曲线变化,峰值出现在 0.52  $\mu\text{m}$ (图 3),2 品种表现一致.灌浆期淹水对 2 小麦品种籽粒 B、A 型淀粉粒数目百分比无显著影响.但在 B 型淀粉粒中,淹水显著降低< 0.52  $\mu\text{m}$  淀粉粒数目百分比(表 4).说明籽粒灌浆期淹水不利于小淀粉粒的产生.

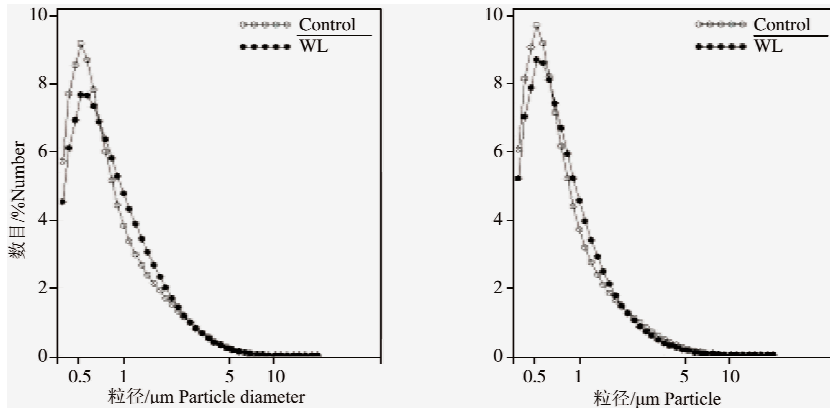


图 3 烟农 19(左)与偃展 4110(右)成熟期籽粒淀粉粒数目分布

表 4 灌浆期淹水对不同品种小麦淀粉粒数目分布的影响

品种	处理	淀粉粒直径/ $\mu\text{m}$			
		$<0.52$	$<5$	$<10$	$>10$
烟农 19	对照 Control	$26.3 \pm 0.3^b$	$99.0 \pm 0^a$	$99.9 \pm 0^a$	$0.1 \pm 0^a$
Yannong19	淹水 WL	$21.4 \pm 0.1^d$	$99.1 \pm 0^a$	$99.9 \pm 0^a$	$0.1 \pm 0^a$
偃展 4110	对照 Control	$28.1 \pm 0.1^a$	$99.0 \pm 0^a$	$99.9 \pm 0^a$	$0.1 \pm 0^a$
Yanzhan4110	淹水 WL	$24.4 \pm 0.1^c$	$99.2 \pm 0^a$	$99.9 \pm 0^a$	$0.1 \pm 0^a$

### 3 讨论与结论

研究表明,灌浆期淹水导致小麦根系和微生物活动而消耗氧气进一步导致小麦根系缺氧引起早衰<sup>[17]</sup>,减弱根系活力,降低功能叶片的含氮量,缩短灌浆时间,减弱灌浆强度,降低粒重;灌浆期淹水导致下部叶片过早衰亡,且植株变矮,绿色体减少,光合产物相应减少且输出紊乱,从而严重降低籽粒中光合产物的积累,最终导致粒重显著降低<sup>[17,18]</sup>. 本研究结果表明,灌浆期淹水显著降低粒重、淀粉的含量与积累量,2 品种表现一致.

小麦籽粒淀粉粒分布是淀粉品质的重要决定因素之一. 小麦籽粒中淀粉粒以  $10 \mu\text{m}$  为分界划分为 A、B 两种类型的淀粉粒:较大的 A 型淀粉粒( $>10 \mu\text{m}$ )和较小的 B 型淀粉粒( $<10 \mu\text{m}$ )<sup>[19,20]</sup>. 环境条件显著影响小麦籽粒淀粉粒度分布. 灌浆期高温降低 B 型淀粉粒数目百分比,增加 A 型淀粉粒数目百分比<sup>[21]</sup>. 本研究表明,灌浆期淹水显著降低 2 品种籽粒 B 型( $<10 \mu\text{m}$ )淀粉粒体积百分比,进而增加 A 型淀粉粒体积百分比;对 A、B 型淀粉粒的数目百分比无显著影响,但显著降低 B 型淀粉粒中 $<0.52 \mu\text{m}$ 淀粉粒数目百分比,可见淹水不利于小淀粉粒的产生. Soh 等<sup>[22]</sup>研究认为,小麦 B 型淀粉粒含量的提高,有利于改善意大利面条品质. 本试验中淹水导致小麦籽粒 B 型淀粉粒比例下降,进而造成淀粉品质下降.

本试验中 B、A 型淀粉粒分别以  $5 \mu\text{m}$ 、 $22 \mu\text{m}$  为界,可将淀粉粒组进一步划分为 $<5 \mu\text{m}$ 、 $5-10 \mu\text{m}$ 、 $10-22 \mu\text{m}$  和 $>22 \mu\text{m}$  等 4 组淀粉粒组,灌浆期淹水主要降低了 B 型淀粉粒中  $5-10 \mu\text{m}$  淀粉粒组和 A 型淀粉粒中 $>22 \mu\text{m}$  淀粉粒组体积百分比,可见籽粒灌浆阶段淹水亦不利于 B、A 型淀粉粒个体体积的增大. 李文阳等<sup>[16]</sup>研究认为,小麦籽粒灌浆期在弱光环境下,淀粉合成底物优先供应淀粉粒的生长,而不是形成更多的淀粉粒. 本研究表明,小麦籽粒灌浆期在淹水环境下均不利于淀粉粒个体体积的增大与数目的增加.

### 参 考 文 献

- [1] 李华伟. 遮光和渍水对小麦产量和品质的影响及其生理机制[D]. 南京:南京农业大学, 2011.
- [2] 张正华,何雪英. 渍害对小麦生长发育的影响及预防措施[J]. 湖北农业科学,1991(8):12-13.
- [3] 陈龙,李季平,杨光宇,等. 灌浆期涝渍胁迫对小麦生理生化特性的影响[J]. 河南农业科学,2002(6):8-9.
- [4] 范雪梅,姜东,戴廷波,等. 花后干旱和渍水下氮素供应对小麦籽粒蛋白质和淀粉积聚关键调控酶活性的影响[J]. 中国农业科学,2005(6):1132-1141.
- [5] 吴进东,李金才,魏凤珍,等. 花后渍水高温交互效应对冬小麦旗叶光合特性及产量的影响[J]. 作物学报, 2012,38(6):1071-1079.
- [6] Schumacher R S, Johnson H. Characteristics of U. S. Extreme rain events during 1999-2003 [J]. Weather Fore-cast, 2006, 21: 84.
- [7] 范雪梅,姜东,戴廷波,等. 花后干旱或渍水下氮素供应对小麦光合和籽粒淀粉积累的影响[J]. 应用生态学报,2005(10): 1883-1888.
- [8] 尚宏翔. 不同节水灌溉方式对小麦产量及水分利用效率的影响[J]. 陕西水利, 2018(5):75-76+82.
- [9] 史宝成,刘钰袁,蔡甲冰. 不同供水条件对冬小麦生长因子的影响[J]. 麦类作物学报,2007,27(6):1089-1095.
- [10] 王公卿,郑志松,李萌. 氮素对小麦生长发育、产量和品质形成的影响[J]. 河南农业, 2017(16):48-49.
- [11] 张敏,赵城,刘希伟,等. 施氮量对糯小麦和非糯小麦籽粒淀粉组分与理化特性的影响[J]. 麦类作物学报, 2017,37(6):786-793.
- [12] 李文阳. 花后弱光对小麦产量、淀粉品质及其形成的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2007.
- [13] 李诚,张润琪,付凯勇,等. 花后干旱对小麦胚乳淀粉粒发育和理化特性的影响[J]. 麦类作物学报, 2015,35(9):1284-1290.
- [14] 何照范. 粮油籽粒品质及其分析技术[M]. 北京:中国农业出版社,1985:148.
- [15] Peng M S, Gao M, Abdel-aal E S M. Separation and characterization of A-and B-type starch granules in wheat endosperm[J]. Cereal Chem-

istry, 1999, 76:377.

- [16] 李文阳, 闫素辉, 尹燕桦, 等. 小麦花后弱光引起籽粒淀粉的粒度分布及组分含量的变化[J]. 生态学报, 2009, 29(1):298-306.
- [17] 曾建军, 时明芝. 植物涝害生理研究进展[J]. 聊城大学学报(自然科学版), 2004(3):54-56.
- [18] 张正华, 何雪英. 渍害对小麦生长发育的影响及预防措施[J]. 湖北农业科学, 1991(8):12-13.
- [19] 吕璞, 王小燕. 渍水对小麦生长发育以及产量影响的研究进展[J]. 农村经济与科技, 2015, 26(5):6-8.
- [20] 李文阳, 卢继承, 闫素辉, 等. 施氮水平对小麦籽粒淀粉粒分布与加工品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(02):297-302.
- [21] 邹云海. 灌溉与旱作条件下源库关系对小麦籽粒淀粉粒度分布、积累特征的调节效应[D]. 泰安: 山东农业大学, 2008.
- [22] 闫素辉, 尹燕桦, 李文阳, 等. 灌浆期高温对小麦籽粒淀粉的积累、粒度分布及相关酶活性的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(6):1092-1096.
- [23] Soh H N, Sissons M J, Turner M A. Effect of starch granule size distribution and elevated amylase content on durum dough rheology and spaghetti cooking quality[J]. Cereal Chemistry, 2006, 83: 513-519.

## Effects of Water-logging on Starch Granule Size Distribution in Wheat Grain during Grain Filling

FU Li-dong<sup>1,2</sup> HE Jiang<sup>1,2</sup> YAN Su-hui<sup>1</sup> XU Feng<sup>1</sup> SHAO Qing-qin<sup>1</sup>

ZHANG Cong-yu<sup>1</sup> LI Wen-yang<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China;

2. College of Agronomy, Yangzhou University, Yangzhou 225000, China)

**Abstract** To understand the the effect of waterlogging on the starch size distribution of wheat endosperm during the filling stage, two wheat cultivars (Yannong19 and Yanzhan4110) were used as materials to investigate the effects of waterlogging on wheat starch granule distribution during the grain-filling period in waterlogging treatment of wheat during the whole grain filling. The results showed that waterlogging during grain filling significantly reduced wheat grain weight, starch content and accumulation. Compared with the control, it significantly reduced the percentage of wheat grain B ( $< 10 \mu\text{m}$ ) starch granules and increased the type A ( $> 10 \mu\text{m}$ ) starch granule volume percentage. Among them, the percentage of the 5-10  $\mu\text{m}$  starch granules in the B-type starch granules and the  $>22 \mu\text{m}$  starch granules in the type A starch granules were significantly reduced. It can be seen that the flooding during the filling stage is not conducive to the increase of the individual volume of the B and A type starch granules. There was no significant effect on the percentage of wheat grain B and A starch granules, but significantly reduced the percentage of starch granules  $<0.52 \mu\text{m}$  in B-type starch granules. It can be seen that waterlogging is not conducive to the production of small starch granules and the increase and increase of the individual volume of starch granules.

**Key words** wheat; starch granule; particle size distribution; waterlogging