

# 不同栽培措施下冬小麦灌浆模拟研究

李科江<sup>1</sup>, 张西科<sup>2</sup>, 刘文菊<sup>2</sup>, 宋平忠<sup>1</sup>

(1 河北省农林科学院旱作农业研究所, 河北 衡水 053000; 2 河北农业大学, 河北 保定 071001)

**摘要:** 1994 年在河北省衡水市邓庄中加合作试验站, 结合田间试验对不同管理措施下冬小麦的灌浆过程进行了研究。结果表明: 粒重的大小主要取决于灌浆时间和灌浆强度, 小麦子粒的灌浆过程可用 Logistic 函数描述。小麦生长前期的水分胁迫有利于加快其发育过程, 促使早抽穗灌浆。灌浆期较好的水分状况可延缓小麦的灌浆进程, 但较大灌浆速率持续的时间较长, 千粒重的潜力值较大。小麦的群体密度是影响收获千粒重的主要因素之一, 随着穗密度的增大, 灌浆速率和千粒重逐渐降低。随着施 N 量的增加, 小麦的千粒重降低, 这主要与施 N 的增穗作用有关。

**关键词:** 栽培; 冬小麦; 灌浆模拟

**中图分类号:** S512.1<sup>+</sup>101 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2001)02-0070-05

在当前河北省的小麦生产中, 粒重的波动很大, 是造成小麦产量不稳和影响高产的重要因素, 而灌浆期则是最终决定粒重的关键期。这个时期除小麦品种本身的生物学特性外, 田间栽培措施对小麦灌浆进程和粒重有着重要影响。在干旱的河北低平原生态区, 水资源严重短缺, 需水和供水矛盾日益突出的形势下, 进一步研究作物栽培措施对小麦灌浆和粒重的影响, 优化田间管理, 发展节水高效农业, 对小麦高产稳产有着十分重要的意义。

## 1 材料和方法

本研究于 1994 年在河北省衡水市邓庄中加试验站进行。衡水位于河北低平原旱区的中心, 属暖温带半润湿大陆季风性气候, 经度为东经 115°, 纬度为北纬 37.7°, 海拔高度为 31 m, 属冲积低平原, 地下水位埋深 6 m, 多为浅层咸水。试验地土壤类型为壤质潮土, 土层深厚, 土壤肥力中等, 耕层有机质含量为 11.267 mg/g, 速效 N 含量为 52 mg/kg, Olsen-P 含量为 5.1 mg/kg, 土壤容重为 1.39 g/cm<sup>3</sup>。供试冬小麦品种为冀麦 38 号。

在 1994 年的冬小麦各试验处理中, 选取有代表性、开花和穗头一致的 300 个麦穗, 并作标记, 从开花后 5 d, 每 4 d 取样一次, 每次每点取 10 个穗, 样品供干后脱粒称重。所取样品涉及的田间试验有下列 3 个:

1) 灌水次数试验: 在中 N (150 kg/hm<sup>2</sup>) 条件下, 设不灌水、灌 2 水、3 水和 4 水处理, 对小麦的灌浆过程进行观测。

2) 不同群体密度试验: 观测由于播量不同而形成的不同小麦群体密度下的冬小麦灌浆状况, 处理基本苗分别为 240, 330 和 375 株/m<sup>2</sup>, 其他田间管理一致。其灌浆过程和收获

千粒重进行测定。

3) 施 N 量试验: 在小麦全生育期灌 3 水的条件下, 选取不施 N, 施 N 150 kg/ hm<sup>2</sup> 和 300 kg/ hm<sup>2</sup> 处理, 对其灌浆过程进行观测。

2 结果与分析

2.1 不同管理措施下小麦灌浆过程的观测值(图 1, 2, 3)

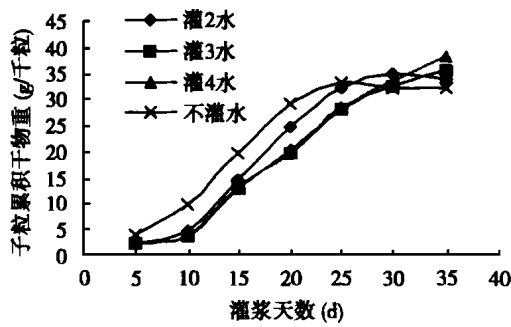


图 1 不同灌水次数对小麦灌浆进程的影响

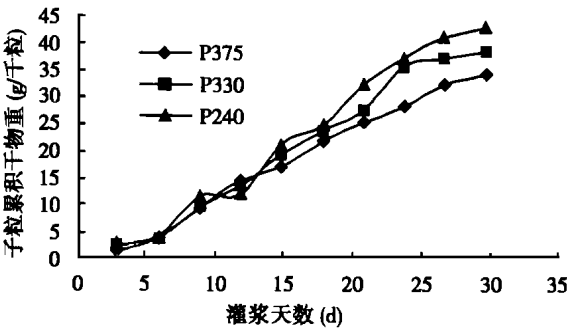


图 2 不同群体密度对小麦灌浆进程的影响

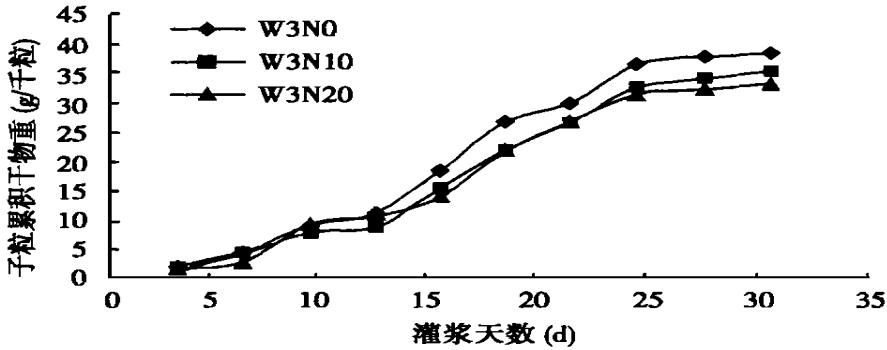


图 3 不同施 N 量对小麦灌浆进程的影响

2.2 灌浆过程模型描述

从图 1 至图 3 中可看出, 子粒累积干物重随时间的变化曲线呈“S”型。可用 Logistic 方程描述, 其表现形式为:

$$W_t = a / (1 + b e^{-k t})$$

式中  $W_t$  为  $t$  时刻时的子粒干物质积累量,  $t$  为灌浆开始后持续的天数,  $a$ ,  $b$ ,  $k$  为参数, 可采用 0.618 优化和回归相结合的方法, 根据试验值进行确定。

当  $t \rightarrow \infty$  时,  $W = a$ , 可见  $W = a$  是曲线的渐近线, 是在该农艺措施下的理论千粒重, 总比实际值大, 即是千粒重的潜力值, 而这个潜力值往往是达不到的, 但其他的合理栽培措施和有利的气候因素可以帮助最大限度地实现这个最大潜力。

当  $t = 0$  时即开花期,  $W_t$  可认为是灌浆未开始时小花子房、胚珠的重量。

利用  $W_t$  对  $t$  求导, 可得出小麦的灌浆速率方程形式为:

$$V(t) = abke^{-kt}(1 + be^{-kt})^{-2}$$

进一步利用  $V$  对  $t$  求导后, 令  $V'(t) = 0$ , 即可得出小麦达到最大灌浆速率时的时间为:

$$t = -\frac{1}{k} \ln \frac{1}{b}$$

将  $t$  代入  $V(t)$  可得出最大灌浆速率。

2.3 模型拟合过程分析

2.3.1 不同灌水次数条件下小麦灌浆过程的模拟方程及吻合程度如表 1 所示 可看出, 由观测值得到的 Logistic 方程的相关系数均在 0.99 以上, 说明用 Logistic 模型可以很好地描述小麦子粒干物质累积的过程。比较各灌水处理模拟方程中的千粒重潜力  $a$  值与收获千粒重, 其值随着灌水次数的增加而逐次递增, 与不灌水比较, 灌 2 水、3 水和 4 水处理收获千粒重分别增加 5.3%、10.9%和 19.6%。这说明, 在河北低平原生态区, 灌浆期是小麦需水量较大的时期之一, 灌溉是小麦灌浆期土壤水分调控的必要措施。从图 4 可看出, 小麦子粒灌浆速率随时间呈正态分布, 灌水次数愈少, 小麦灌浆起步时间愈早, 达到峰值的时间越快, 依次分别为第 13 d、第 16 d、第 19 d 和第 20 d。从最大灌浆速率看, 灌水次数较少时, 最大灌浆速率值较大, 为 1.96~ 2.10 g/d, 这可能与其群体密度有关。分析各处理灌浆速率大于 1 g/d 持续的天数可见, 随着灌水次数的增加而增加, 不灌水处理为 14 d, 而灌 4 水处理为 18 d, 这说明, 干旱可使小麦早衰, 这也是造成小麦收获粒重差异的主要原因。

表 1 不同灌水次数条件下小麦灌浆过程的拟合方程

处理	千粒重拟合方程	灌浆速度	相关系数	$V'(t) = 0$ 时 $t$ 值	$V_{max}$ (g/d)	千粒重 (g)
不灌水	$W_t = \frac{33.7426}{1 + 20.4154e^{-0.232t}}$	$V(t) = \frac{159.818e^{-0.2320t}}{(1 + 20.4154e^{-0.2320t})^2}$	0.994 5	13.0	1.957	32.1
灌 2 水	$W_t = \frac{35.0274}{1 + 47.6527e^{-0.239t}}$	$V(t) = \frac{399.93e^{-0.2396t}}{(1 + 47.65e^{-0.2396t})^2}$	0.997 1	16.1	2.098	33.8
灌 3 水	$W_t = \frac{36.9180}{1 + 45.7752e^{-0.1997t}}$	$V(t) = \frac{337.48e^{-0.1997t}}{(1 + 45.78e^{-0.1997t})^2}$	0.997 0	19.1	1.843	35.6
灌 4 水	$W_t = \frac{40.1703}{1 + 48.8977e^{-0.1929t}}$	$V(t) = \frac{378.90e^{-0.1929t}}{(1 + 48.90e^{-0.1929t})^2}$	0.996 7	20.2	1.863	38.4

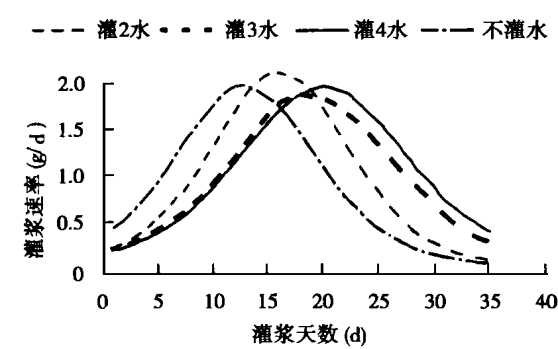


图 4 不同灌水次数下灌浆速率模拟

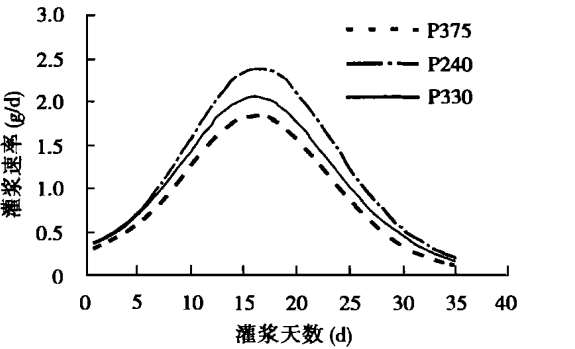


图 5 不同密度下小麦灌浆速率

2.3.2 不同群体密度下小麦灌浆过程的拟合和收获千粒重如表 2 所示，拟合方程的相关系数亦均在 0.99 以上。比较 3 个密度处理(基本苗分别为 240, 330 和 375 株/ m<sup>2</sup>)的千粒重潜在值与收获千粒重，随着密度由高到低，其值依次升高，小麦千粒重潜在值 a 由 35.5 g 提高到 45.5 g，收获千粒重由 33.87 g 提高到 42.45 g，提高幅度分别为 12.2% 和 25.3%。比较 3 个处理的灌浆速率变化曲线看出，小麦灌浆的起始时间和到达最大灌浆速率的天数没有明显区别，但随着密度的增加，最大灌浆速率明显减小，分别为 2.31, 2.06 和 1.84 g/d，且灌浆速率大于 1.5 g/d 持续的时间也逐渐缩短(如图 5 所示)。这说明，小麦的群体密度是影响灌浆和粒重的主要因素。

表 2 不同群体密度下小麦灌浆过程的拟合方程

处理	千粒重拟合方程	灌浆速度	相关系数	$V'_{(t)}=0$ 时 $t$ 值	$V_{max}$ (g/d)	千粒重 (g)
高密度	$W_t = \frac{35.5521}{1 + 27.8345e^{-0.2067t}}$	$V_{(t)} = \frac{204.545e^{-0.2067t}}{(1 + 27.8345e^{-0.2067t})^2}$	0.989 9	16.1	1.837	33.87
中密度	$W_t = \frac{40.9012}{1 + 26.4580e^{-0.2013t}}$	$V_{(t)} = \frac{217.839e^{-0.2013t}}{(1 + 26.4580e^{-0.2013t})^2}$	0.995 5	16.5	2.057	38.01
低密度	$W_t = \frac{45.5329}{1 + 29.4547e^{-0.2026t}}$	$V_{(t)} = \frac{271.719e^{-0.2026t}}{(1 + 29.4547e^{-0.2026t})^2}$	0.995 4	16.7	2.306	42.45

2.3.3 在小麦生育期灌 3 水的条件下，取不施 N、施 N 150 kg/ hm<sup>2</sup> 和 300 kg/ hm<sup>2</sup> 3 个处理对小麦的灌浆过程进行拟合，如表 3 和图 6 所示，拟合方程的相关系数均在 0.99 以上。比较 3 个处理的千粒重潜在值和收获千粒重，随着施 N 量的增加，小麦千粒重逐渐降低，由 38.2 g 降低到 33.14 g，最大灌浆速率也依次减小，由 2.23 g/d 减小到 1.98 g/d，但达到最大灌浆速率的时间基本相同，这说明增 N 的主要作用是增穗，通过调节群体密度而影响产量结构，使其更趋合理。

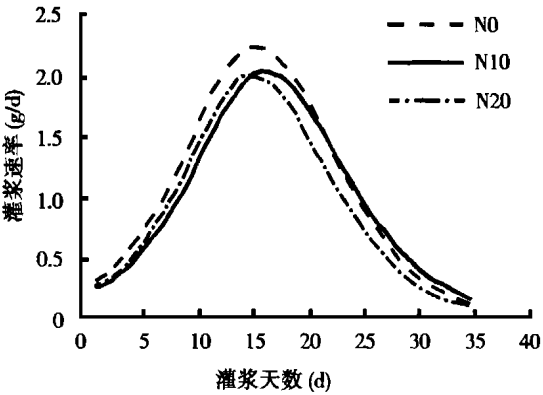


图 6 不同施 N 量下小麦灌浆速率

表 3 不同施 N 量对小麦灌浆过程的拟合方程

处理	千粒重拟合方程	灌浆速度	相关系数	$V'_{(t)}=0$ 时 $t$ 值	$V_{max}$ (g/d)	千粒重 (g)
$W_3N_0$	$W_t = \frac{40.2930}{1 + 31.7265e^{-0.2215t}}$	$V_{(t)} = \frac{283.156e^{-0.2215t}}{(1 + 31.7265e^{-0.2215t})^2}$	0.997 4	15.6	2.23	38.2
$W_3N_{10}$	$W_t = \frac{37.5050}{1 + 35.8260e^{-0.2154t}}$	$V_{(t)} = \frac{289.423e^{-0.2154t}}{(1 + 35.8260e^{-0.2154t})^2}$	0.997 5	16.6	2.02	35.07
$W_3N_{20}$	$W_t = \frac{34.5751}{1 + 34.7145e^{-0.2289t}}$	$V_{(t)} = \frac{274.738e^{-0.2289t}}{(1 + 34.7145e^{-0.2289t})^2}$	0.996 2	15.5	1.98	33.14

### 3 结论

灌浆期较好的水分状况可延缓小麦的灌浆进程, 但千粒重的潜力值较大, 保持较大灌浆速率的时间较长。小麦的群体密度是影响子粒最大灌浆速率和收获千粒重的主要因素, 随着穗密度的增大, 灌浆速率和千粒重逐渐降低, 但穗密度对小麦子粒灌浆的进程无明显影响。随着施 N 量的增加, 小麦的千粒重降低, 这主要与施 N 的增穗作用有关。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 李科江, 刘志尧. 限水条件下小麦灌浆因素分析与优化管理[ A ]. 河北旱作与节水农业研究[ M ]. 北京: 中国农业科技出版社, 1996. 116– 122.
- [ 2 ] 李志宏, 李科江. 缺水地区冬小麦高产稳产新探讨[ A ]. 河北省作物高产学术研讨会论文集[ C ]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995. 1– 5.
- [ 3 ] 刘勇章, 梅楠, 郁明谏. 冬小麦子粒增重过程的模拟模型研究[ J ]. 湖北农业科学, 1997, ( 3 ): 14– 17.
- [ 4 ] 育漱拓, 张应明. 冬小麦灌浆速度模式研究[ J ]. 农业气象, 1986, 7( 4 ): 9– 13.

## A Study on Modeling Kernel Filling of Winter Wheat with Different Management

LI Ke-jiang<sup>1</sup>, ZHANG Xi-ke<sup>2</sup>, LIU Wen-ju<sup>2</sup>, SONG Ping-zhong<sup>1</sup>

( 1 Dryland Farming Institute of Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences,  
Hengshui 053000, China; 2 Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China)

**Abstract:** This study was conducted at Dengzhuang Experimental Station, Hengshui City, Hebei Province in 1994. The kernel filling process of winter wheat was observed. The results showed that the kernel weight mainly depended on length and strength of kernel filling period. The kernel filling process could be described by Logistic function. The beginning and peak of kernel filling could be delayed with better soil moisture condition. The highest kernel-filling rate decreased as plant population increased.

**Key words:** Winter wheat; Kernel filling; Logistic model; Field management