

不同水肥管理对冬小麦灌浆影响的模拟研究

李科江¹, 李保国², 胡克林², 曹彩云¹, 郑春莲¹

(1 河北省农林科学院旱作农业研究所, 河北衡水 053000; 2 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

摘要: 在河北省衡水市中国-加拿大合作研究试验站, 结合田间试验对不同水肥管理条件下冬小麦的灌浆过程进行了研究。结果表明, 小麦粒重的大小主要取决于灌浆时间和强度, 子粒的灌浆过程可较好地用 Logistic 函数描述。小麦生长前期的水分胁迫有利于加快其发育进程, 促使早抽穗灌浆。灌浆期适宜的水分状况可延缓小麦的灌浆进程, 由于较大灌浆速率持续的时间较长, 增加千粒重的潜力较大。小麦的群体密度是影响收获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。随着施氮量的增加, 小麦的千粒重下降, 这主要与施氮的增穗作用有关。

关键词: 冬小麦; 水肥管理; 灌浆; 模拟

中图分类号: S512.1; S157.4

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2004)05-0449-06

Modeling kernel filling of winter wheat for optimum field management

LI Ke-jiang¹, LI Bao-guo², HU Ke-lin², CAO Cai-yun¹, ZHENG Chun-lian¹

(1 Dryland Farming Inst., Hebei Acad. of Agric. and For. Sci., Hengshui 053000, China;

2 College of Resour. and Environ., CAU, Beijing 100094, China)

Abstract: This study was conducted at Hengshui Dengzhuang China-Canada Experimental Station. The kernel filling process of winter wheat was observed and analyzed. The results showed: The kernel filling process of winter wheat could be described with Logistic equations. The field management had large effects on the kernel filling process and harvest grain weight. The grain weight mainly depended on length and strength of kernel filling period. The beginning and peak of kernel filling could be delayed with better soil moisture condition and higher nitrogen application. The highest filling rate decreased as plant population increased.

Key words: winter wheat; kernel filling; field management; model

在当前的农业生产中, 粒重的波动是造成小麦产量不稳和影响高产的重要因素。灌浆期则是决定粒重的关键期。这个时期除小麦品种本身的生物学特性和外界自然环境影响外, 田间的水肥管理是最大的可控因素, 对小麦的灌浆进程和粒重有着十分重要的影响^[1]。在河北省干旱的黑龙港生态区, 灌溉水资源匮乏, 需水和供水矛盾突出^[2]。为此, 进一步量化研究田间水肥管理对小麦灌浆和粒重的影响, 以期为提高水肥利用率, 实现小麦的高产稳产提供科学依据。

1 材料与方法

试验于 1995~1996 年在河北省衡水市邓庄中

加-试验站进行。衡水市位于黑龙港旱区的中心, 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 31m, 属冲积低平原, 地下水位埋深 6m, 多为浅层咸水。试验地土壤类型为壤质潮土, 土层深厚, 肥力中等, 耕层有机质含量为 11.27g/kg, 速效 N 含量为 52mg/kg, Olsen-P 含量为 5.1mg/kg, 土壤容重为 1.39g/cm³。供试小麦品种为早 71-3。1995 年于有关的冬小麦各试验处理中, 选取有代表性的, 开花和穗头一致的 300 个麦穗, 并作标记, 从开花后 5d, 每 4d 取样一次, 每次每点取 10 个穗, 样品烘干后脱粒称重。所取样品涉及的田间试验有下列 3 个。

1.1 不同小麦品种的水肥反应试验

选取不同类型的12个小麦品种,裂区设计,3次重复,主处理为施氮量,设低氮(N75kg/hm²)、中氮(N150kg/hm²)、高氮(N225kg/hm²)3个处理;副处理为灌水次数,设0—5次灌溉共6个处理,观测其生长发育进程和产量。

1.2 小麦的施肥和灌水次数试验

裂区设计,3次重复,小区面积为6m×6m。主处理为灌水次数,设全生育期0—5次灌溉共6个处理;副处理为施氮量,设N0~300kg/hm²共5个处理。分别观测灌水次数和施氮量对小麦灌浆的影响,即:在施中量氮(N150kg/hm²)条件下,选不灌水(I0)、灌2水(I2)、3水(I3)和4水(I4)处理,对小麦的灌浆过程进行观测;在小麦全生育期灌3水的条件下,选取不施N(N0),施N150kg/hm²(N150)和300kg/hm²(N300)处理,观测其灌浆过程值。

1.3 灌水量试验

在小麦生育期灌2水的条件下,设,每次灌水30mm(W30)、60mm(W60)和90mm(W90)等3个不同灌水量,重复3次,随机排列。小区面积为6m×8m,观察不同的灌水量对灌浆过程的影响。

1.4 群体密度试验

设3种不同播量,保证基本苗分别为240株/m²(P240)、330株/m²(P330)和375株/m²(P375),3次重复,随机排列。小区面积为10m×10m,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。

以上试验除按设计要求处理外,其它田间管理保持一致。

2 结果与分析

2.1 灌溉次数和施氮量对小麦抽穗期和灌浆时间的影响

12个冬小麦品种的水肥反应观测结果看出,灌溉次数和施氮量对其抽穗期和灌浆时间有较大的影响^[3]。增加灌水次数(尤其是前期灌水次数)可延缓小麦的抽穗时间,缩短其灌浆期(表1)。其中灌2水与灌4水的抽穗期相差较多,与灌2水比较,灌4水增加了返青水和孕穗水,虽然孕穗水在抽穗前7d浇灌,对抽穗期影响不大,但返青水对抽穗的早晚具有更重要的作用。增加灌水次数延长了营养生长的时间,相应地缩短了灌浆期。表1还看出,灌浆期以灌3水的为最长。

就施氮水平看,从低氮(N75kg/hm²)、中氮(N150kg/hm²)到高氮(N225kg/hm²),尽管抽穗期有推迟的趋势,但灌浆时间变化不太明显(表1),所以水是抽穗期推迟和灌浆期缩短的主导因素^[4]。尤其在高肥力条件下,灌水次数增多,调动了潜在肥力,N/C营养不协调,会造成贪青而晚熟,并易遭受干热风的危害,导致倒伏而减产^[5]。

上述结果表明,在北方麦区,增加粒重是高产的关键,所以适当延长灌浆期,促使小麦早抽穗开花,提高灌浆速率,是实现小麦高产稳产的关键。

表1 灌溉次数和施氮量对小麦抽穗期、灌浆期和灌浆速率的影响

Table 1 Effect of irrigation frequency and nitrogen rate on the heading date, filling length and rate of winter wheat

项目 Item		灌溉次数 Irrigation frequency						平均 Average	灌浆速率 Filling rate (g/d)
		0	1	2	3	4	5		
抽穗期	HN	—	28/4	1/5	5/5	6/5	3/5	3/5	
Heading date (d/mon.)	MN	26/4	27/4	28/4	4/5	5/5	—	30/4	
	LN	26/4	27/4	28/4	2.3/5	—	—	28/4	
灌浆期	HN	—	32.0	30.3	31.3	28.6	28.0	30.04	1.22
Filling period (d)	MN	31.7	32.0	31.3	33.0	29.0	27.0	30.70	1.30
	LN	32.7	31.7	31.7	31.0	27.7	27.3	30.40	1.46

注(Note): 高氮 HN—N 225kg/hm²; 中氮 MN—N150kg/hm²; 低氮 LN—N 75kg/hm²。灌浆速率为10株之和。Filling rate is total of 10 plants.

2.2 不同处理小麦灌浆过程模型描述

图1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:

$$W_t = a / (1 + be^{-kt})$$

式中 W_t 为 t 时刻时的子粒干物质积累量(g), 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^[6]。

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, 但其它的合理栽培措施和有利的气候因素可以帮助最大限度地接近这个最大潜力值。

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(g/d)^[7]。

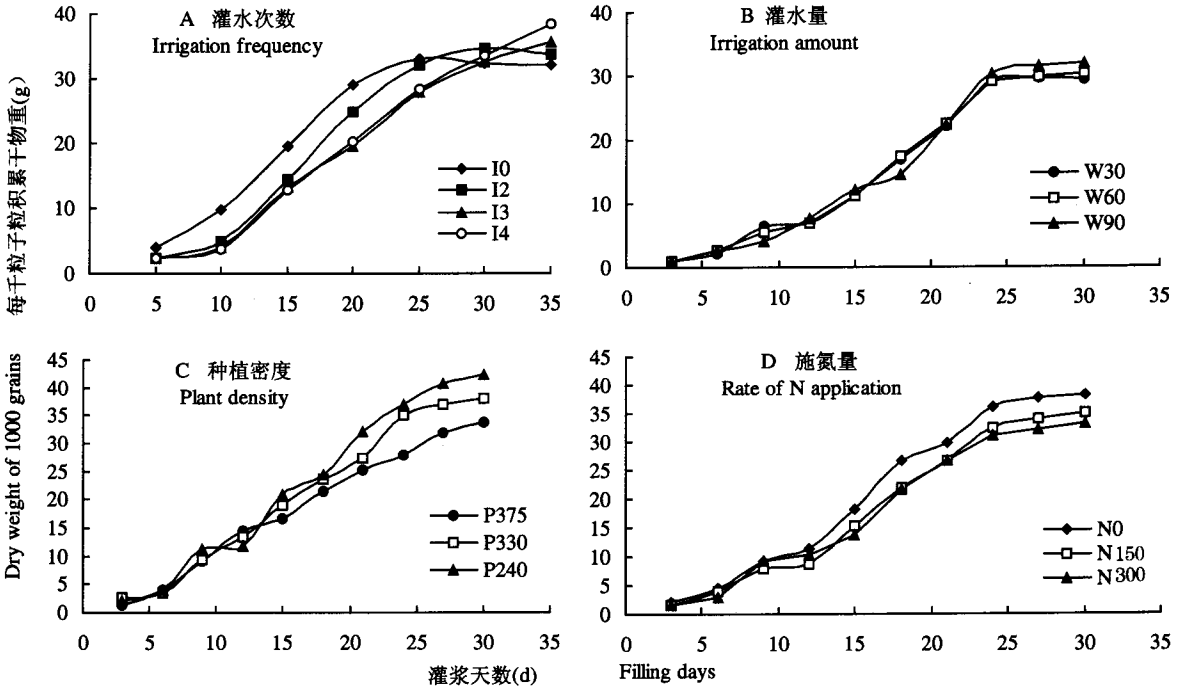


图 1 不同管理措施对冬小麦灌浆过程的影响

Fig. 1 Effect of measures of management on filling process of winter wheat

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 表 2 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%。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^[8]。

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 13d、第 16d、第 19d 和第 20d(图 2)。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 1.96~2.10g/d, 这可能与群体密度有关。分析各处理灌浆速率大于 1g/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 14d, 而灌 4 水处理为 18d, 说明干旱可使小麦早衰, 是造成小麦收获粒重差异的主要原因。

2.3.2 不同灌水量对小麦灌浆过程拟合和收获千粒重的影响 表 3 和图 3 看出, 在小灌水次数相同的条件下, 小麦灌浆过程的拟合方程相关系数均在 0.99 以上。比较 3 个灌水量处理拟合方程的千粒重潜力 a 值与收获千粒重, 灌 30mm 与灌 60mm 处理的 a 值和收获千粒重十分接近, 灌浆速率曲线几乎叠合, 这可能与处理的穗密度有关(灌 30mm 处理的穗密度为 441 穗/m², 灌 60mm 处理的穗密度为 520 穗/m², 灌 90mm 处理的穗密度为 549 穗/m²)。而灌 90mm 与前二者比较, 千粒重潜力 a 值与收获

千粒重明显提高,灌浆进程后延,达到最大灌浆速率的时间推迟 2d,最大灌浆速率为 2.20g/d,比前 2 个处理高 0.35g/d,且灌浆速率大于 1g/d 的持续天数

比前 2 个处理多 2d,这表明灌浆期较好的水分状况有利于提高灌浆速率和增加收获粒重。

表 2 不同灌水次数条件下小麦灌浆过程的拟合方程

Table 2 The kernel filling process models with various irrigation frequency

处理 Treatment	千粒重拟合方程 Kernel filling equations	灌浆速率 Kernel filling rate equations	r	$V'_{(t)}=0$ t	V_{max} (g/d)	千粒重(g) 1000-grain wt.
I0	$W_t = \frac{33.7426}{1 + 20.4154e^{-0.232t}}$	$V_{(t)} = \frac{159.818e^{-0.232t}}{(1 + 20.4154e^{-0.232t})^2}$	0.9945	13.0	1.957	32.1
I2	$W_t = \frac{35.0274}{1 + 47.6527e^{-0.2396t}}$	$V_{(t)} = \frac{399.93e^{-0.2396t}}{(1 + 47.65e^{-0.2396t})^2}$	0.9971	16.1	2.098	33.8
I3	$W_t = \frac{36.9180}{1 + 45.7752e^{-0.1997t}}$	$V_{(t)} = \frac{337.48e^{-0.1997t}}{(1 + 45.78e^{-0.1997t})^2}$	0.9970	19.1	1.843	35.6
I4	$W_t = \frac{40.1703}{1 + 48.8977e^{-0.1929t}}$	$V_{(t)} = \frac{378.90e^{-0.1929t}}{(1 + 48.90e^{-0.1929t})^2}$	0.9967	20.2	1.863	38.4

注(Note): I0—不灌水 No irrigation; I2—灌 2 水 Irrigated 2 times; I3—灌 3 水 Irrigated 3 times; I4—灌 4 水 Irrigated 4 times.

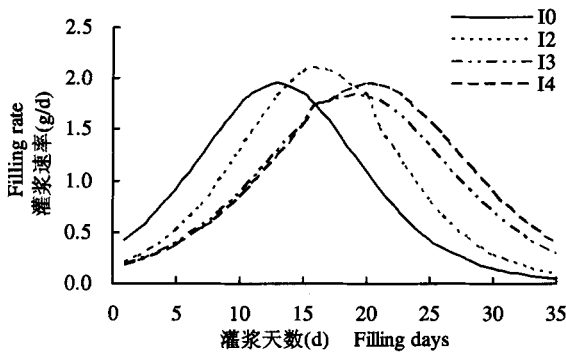


图 2 不同灌水次数下小麦灌浆速率模拟
Fig. 2 The kernel filling rate models with various irrigation frequency

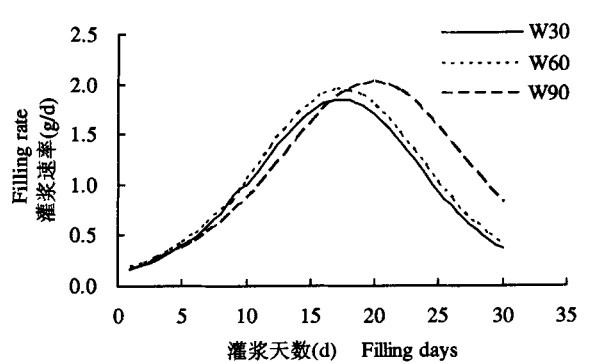


图 3 不同灌水量下小麦灌浆速率
Fig. 3 The kernel filling rate models with various irrigation amounts

表 3 不同灌水量下小麦灌浆过程拟合方程

Table 3 The kernel filling process models with various irrigation amounts

处理 Treatment	千粒重拟合方程 Kernel filling equations	灌浆速率 Kernel filling rate equations	r	$V'_{(t)}=0$ t	V_{max} (g/d)	千粒重(g) 1000-grain wt.
W ₃₀	$W_t = \frac{32.4521}{1 + 52.0223e^{-0.2282t}}$	$V_{(t)} = \frac{385.255e^{-0.2282t}}{(1 + 52.022e^{-0.2282t})^2}$	0.9937	17.3	1.85	30.21
W ₆₀	$W_t = \frac{32.9547}{1 + 49.3242e^{-0.2243t}}$	$V_{(t)} = \frac{364.592e^{-0.2243t}}{(1 + 49.3242e^{-0.2243t})^2}$	0.9964	17.4	1.85	31.94
W ₉₀	$W_t = \frac{37.9303e^{-0.2013t}}{1 + 54.0687e^{-0.2013t}}$	$V_{(t)} = \frac{436.829e^{-0.2013t}}{(1 + 54.069e^{-0.2013t})^2}$	0.9858	19.8	2.20	39.42

2.3.3 不同群体密度下小麦灌浆过程的拟合和收获千粒重 如表 4 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 株/m², 330 株/m² 和 375 株/m²)的千粒重潜力值与收获千粒重,随着密度由高到低,其值依次升高,小麦千粒重潜力值 a 由 35.5g 提高到 45.5g,收

获千粒重由 33.87g 提高到 42.45g,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(图 4)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 2.31g/d、2.06g/d 和 1.84g/d,且灌浆速率大于 1.5g/d 持续的时间也逐渐缩短,这说明小麦的群体密度是影响灌浆和粒重的主要因素。

2.3.4 不同施氮量对小麦的灌浆过程的拟合和收获

千粒重 在小麦生育期灌 3 水的条件下,取不施 N、施 N 150kg/hm² 和 300kg/hm² 等 3 个处理灌浆过程进行拟合,其拟合方程的相关系数均在 0.99 以上。比较 3 个处理的千粒重潜力值和收获千粒重,随着施氮量的增加,小麦千粒重逐渐降低,由 38.2g 降低到 33.14g,最大灌浆速率也依次减小,由 2.23g/d 减小到 1.98g/d,但达到最大灌浆速率的时间基本相同(表 5 和图 5)。这说明增氮的主要作用是增穗,通过调节群体密度而影响产量结构,使其更趋合理。

表 4 不同群体密度下小麦灌浆过程的拟合方程

Table 4 The kernel filling process models with different plant density

处理 Treatment	千粒重拟合方程 Kernel filling equations	灌浆速率 Kernel filling rate equations	r	V'(t)=0 t	V _{max} (g/d)	千粒重(g) 1000-grain wt.
P375	$W_t = \frac{35.5521}{1 + 27.8345e^{-0.2067t}}$	$V_{(t)} = \frac{204.545e^{-0.2067t}}{(1 + 27.8345e^{-0.2067t})^2}$	0.9899	16.1	1.837	33.87
P330	$W_t = \frac{40.9012}{1 + 26.4580e^{-0.2013t}}$	$V_{(t)} = \frac{217.839e^{-0.2013t}}{(1 + 26.4580e^{-0.2013t})^2}$	0.9955	16.5	2.057	38.01
P240	$W_t = \frac{45.5329}{1 + 29.4547e^{-0.2026t}}$	$V_{(t)} = \frac{271.719e^{-0.2026t}}{(1 + 29.4547e^{-0.2026t})^2}$	0.9954	16.7	2.306	42.45

注(Note): P375—高密度 High density(375 pls/m²); P330—中密度 Middle density(300 pls/m²); P240—低密度 Low density(240 pls/m²)

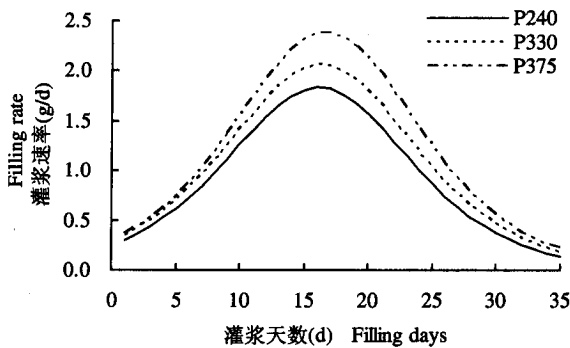


图 4 不同密度下小麦灌浆速率模拟

Fig. 4 The kernel filling rate models with different plant density

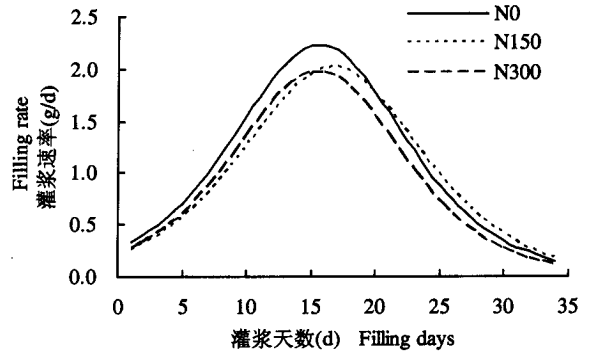


图 5 不同施氮量下小麦灌浆速率模拟

Fig. 5 The kernel filling rate models with different N rates

表 5 不同施氮量对小麦灌浆过程的拟合

Table 5 The kernel filling process models with different N rate

处理 Treatment	千粒重拟合方程 Kernel filling equations	灌浆速率 Kernel filling rate equations	r	V'(t)=0 t	V _{max} (g/d)	千粒重(g) 1000-grain wt.
N0	$W_t = \frac{40.2930}{1 + 31.7265e^{-0.2215t}}$	$V_{(t)} = \frac{283.156e^{-0.2215t}}{(1 + 31.7265e^{-0.2215t})^2}$	0.9974	15.6	2.23	38.2
N150	$W_t = \frac{37.5050}{1 + 35.8260e^{-0.2154t}}$	$V_{(t)} = \frac{289.423e^{-0.2154t}}{(1 + 35.8260e^{-0.2154t})^2}$	0.9975	16.6	2.02	35.07
N300	$W_t = \frac{34.5751}{1 + 34.7145e^{-0.2289t}}$	$V_{(t)} = \frac{274.738e^{-0.2289t}}{(1 + 34.7145e^{-0.2289t})^2}$	0.9962	15.5	1.98	33.14

注(Note): N0—不施 N, Without N application; N150—施 N150 kg/hm², Application N 150 kg/hm²; N300—施 N300 kg/hm², Application N 300 kg/hm²

3 讨论

综合上述试验结果,灌溉次数对其抽穗期和灌浆时间有较大影响,小麦前期灌溉次数的增加,推迟了抽穗期,相应缩短了灌浆时间,而施氮量对生育期的影响不明显,主要影响其灌浆速率,且随着施氮量的增加灌浆速率明显降低,这主要是施氮肥以促进茎蘖成穗,增加单位面积穗数为主。因此在田间管理应对措施上,要尽量减少灌溉次数,使其生育期提前。提昌浇足底墒水,不浇冬水和返青水;在起身到拔节期浇好关键水,同时施足量的氮肥,保证单位面积穗数的同时,促使小麦早抽穗、开花,延长灌浆期,提高灌浆速率,是实现小麦高产稳产的关键。

小麦的灌浆过程可用 Logistic 方程较好地描述。田间水肥管理对小麦的灌浆进程和速率及收获粒重有较大的影响。试验结果表明:灌浆期以灌 3 水时间最长。从灌浆速率上看,灌水次数较少时其最大灌浆速率值大,而灌浆速率大于 1g/d 持续的天数随着灌水次数的增加而增加。与不灌水相比,灌 2 水、3 水、4 水处理收获千粒重都增加。在灌水次数相同的条件下,随着灌水量的增加,穗密度相应增大,但灌浆进程后延。灌 90mm 水处理其千粒重最大,且灌浆速率大于 1g/d 的天数也长。因此小麦的灌浆水是另一个小麦需水的关键时期。从小麦子粒产量和水分利用率来看,小麦全生育期灌 3 水,每次的灌溉定额为 60mm 为宜。

小麦的群体密度对子粒最大灌浆速率和收获千粒重有着较大的影响,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。因此,在小麦的整个生育期内应浇好关键水,如起身拔节水和灌浆水,同时追施适量的氮肥,在保证适宜群体的条件下,最大限度地增加灌浆速率,才能发挥其产量潜力。

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[C]. 北京: 中国农业科技出版社, 1996. 116-122.
- [2] 龚元石,李保国. 华北平原节水农业应用基础研究战略[A]. 石元春,刘昌明,龚元石. 节水农业应用基础研究进展[C]. 北京: 中国农业出版社, 1995. 1-6.
- [3] 李科江,李志宏. 河北低平原冬小麦春一水优化节水灌溉技术 [J]. 河北省科学院学报, 1997(3): 327-330.
- [4] Chaadhary P N, Kumar V. The sensitivity of growth and yield of dwarf wheat to water stress at three growth stages[J]. Irrigation Sci., 1997(1): 23-227.
- [5] Al-Kais M M, Berrada A, Stack M. Evaluation of irrigation scheduling program and spring wheat yield response in southwestern Colorado[J]. Agric. Water Management, 1997(34): 137-148.
- [6] 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.
- [7] 育漱拓,张应明. 冬小麦灌浆速度模式研究[J]. 农业气象, 1986(4): 9-13.
- [8] 李科江,李纪彬,李志宏. 河北低平原旱地麦田耗水规律及提高水肥利用率研究[J]. 华北农学报, 1998(增刊): 52-55.