

# 不同栽培模式和施氮对半湿润易旱区冬小麦籽粒灌浆特征的影响

任书杰<sup>1,2,4</sup>, 李世清<sup>2,3\*</sup>, 郑纪勇<sup>2,3</sup>, 王全九<sup>2</sup>, 李生秀<sup>3</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院

水利部水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

3. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 4. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 在黄土高原南部半湿润易旱区, 以土垫旱耕人为土为供试土壤, 进行大田试验, 研究栽培模式和施氮对冬小麦灌浆过程中籽粒体积、粒重和含水量的影响。结果表明, 籽粒体积随灌浆进程的变化符合一元二次方程, 籽粒体积在灌浆起始阶段快速增长, 之后缓慢增长至最大值, 后期快速下降; 对不同灌浆期籽粒体积和最大籽粒体积, 小偃 22 大于小偃 503, 不同栽培模式其大小顺序为: 集雨面栽培 > 全程覆膜 > 常规栽培, 施氮对其影响不显著, 各处理达到最大籽粒体积时间变化在 24.3~25.7 d 间, 差异不大。各处理粒重均呈“S”型变化趋势, 符合 Logistic 生长模型; 小偃 22 的最大粒重大于小偃 503; 而不同栽培模式的最大粒重表现为: 地膜覆盖栽培 > 常规栽培、集雨面栽培; 施氮对小偃 503 最大粒重有促进作用, 而对小偃 22 表现出一定抑制作用。从总体上看, 小偃 503 的灌浆速率大于小偃 22; 常规栽培和集雨面栽培的灌浆速率大于覆膜栽培; 施氮对灌浆速率的影响与对粒重的影响相反。不同小麦品种粒重的差异与灌浆进程有关, 在灌浆前期小偃 22 与小偃 503 粒重差异不明显, 在中后期, 小偃 22 与小偃 503 粒重差异逐渐增大, 灌浆结束时小偃 22 粒重显著大于小偃 503。从收获时粒重和全灌浆期平均粒重看, 均以集雨面栽培最大, 全程覆膜栽培次之, 常规栽培最小, 与最大粒重有所不同。籽粒含水量随灌浆过程推进几乎均呈直线下降, 但小偃 22 籽粒含水量大于小偃 503; 栽培模式和施氮对籽粒含水量影响较小。小麦粒重与籽粒体积和含水量间存在显著或极显著线性相关关系。

**关键词:** 冬小麦栽培模式; 氮肥; 灌浆过程; 籽粒体积; 粒重

中图分类号: S512.1<sup>+</sup>1; S143.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7601(2007)02-0001-07

小麦灌浆期是指从开花到生理成熟期。灌浆的实质是同化产物由源向库(籽粒)的运输和转化。小麦籽粒灌浆特性显著影响籽粒产量, 对灌浆过程的研究可为籽粒产量目标制定及育种策略抉择提供重要依据。影响小麦灌浆的因素主要包括遗传因素和外界环境因素<sup>[1]</sup>。多数研究者认为, 小麦灌浆速率主要受遗传控制, 不同品种间差异显著<sup>[2~6]</sup>, 如大穗大粒品种灌浆速率在早期低于小穗多分蘖型品种<sup>[7]</sup>。而不同栽培模式和土壤养分, 特别是氮素, 对小麦灌浆过程有何影响, 报道并不多见。本研究的目的在于通过田间试验, 探究在半湿润易旱区几种常见栽培模式和施氮对冬小麦灌浆过程有何影响, 为选择合理栽培模式提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验在西北农林科技大学土壤肥料试验站进

行。该试验站处于黄土高原南部半湿润易旱区, 为渭河三级阶地, 海拔 520 m 左右。本地区属大陆性季风气候, 冬小麦生育期大于 5℃积温在 1 000℃~1 300℃, 年均降水量 632 mm, 分布不均, 主要集中在 7、8、9 三个月份, 冬春易旱, 年均气温 12.9℃, 年蒸发量 1 400 mm, 地下水埋深大于 60 m。作物轮作方式主要为冬小麦-夏玉米。供试土壤为土垫旱耕人为土, 其剖面层次大体可划分为耕层(0~20 cm)、粘化层(20~60 cm)和母质层(60~200 cm)。前茬休闲, 其基本性质见表 1。

### 1.2 试验设计

该试验设 5 种栽培模式: 常规栽培(对照)(CC)、全程覆膜(PNC)、覆膜 150 d、三密一稀和集雨面栽培(集雨面: 种植面=40:80, 即起 40 cm 宽度垄, 在垄上覆膜作为集雨面, 80 cm 宽度的沟内种植小麦)(HRC); 2 个施氮水平: 不施氮(N0)和施氮(120 kg/hm<sup>2</sup>)(N1); 2 个小麦品种, 小偃 503 和小偃

收稿日期: 2006-07-25

基金项目: 国家自然科学基金(30571116, 30670326); 西北农林科技大学创新团队、中国科学院百人计划和黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金(10501-146)

作者简介: 任书杰(1976-), 女, 辽宁凌源人, 在读博士, 主要从事全球变化与陆地生态系统碳氮循环研究。

\* 通讯作者: 李世清; 电话: (029) 87016171; E-mail: sqli@ms.iswl.ac.cn

22(503 和 22); 采用完全方案, 共 20 个处理, 重复 3 次; 小区面积为  $11.9 \text{ m}^2$  ( $3.6 \text{ m} \times 3.3 \text{ m}$ )。播种时带尺点播, 株距 3 cm, 行距 20 cm。以磷肥为底肥, 磷肥用量( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) 为  $100 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。2002 年 10 月 10

日播种, 2003 年 5 月 31 日收获。因播种时干旱, 除在 10 月 16 日各小区补灌 12.5 mm 水外, 其余时期均未灌溉。

表 1 供试土壤的基本理化性质  
Table 1 Properties of experimental soil

土层 Layer (cm)	有机质 O. M. (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	有效磷 Avail. P ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )	$\text{NO}_3^- - \text{N}$ ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )	非交换态铵 Mineral fixed N ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )
0~ 20	11.5	1.25	5.42	18.55	5.14	221.4
20~ 40	9.1	0.98	4.46	22.85	2.43	208.9
40~ 60	6.7	0.78	3.28	5.85	2.57	200.5
60~ 80	5.0	0.61	4.76	7.85	1.55	204.7
80~ 100	4.6	0.54	2.37	8.04	3.68	207.4

### 1.3 测定项目

选择 2 个小麦品种不施氮和施氮处理的常规栽培、全程覆膜和集雨面栽培等 3 种栽培模式的 12 个小区进行灌浆试验。开花时将每小区同一天开花且大小相近的麦穗 300 个用毛线系住麦穗基部穗轴以做标记, 为以后取样株。从开花后第 3 d 开始取样, 以后每隔 2 d 取样 1 次, 直至成熟, 共取样 12 次。前 4 次每次取 40 个标记的单茎, 后 8 次每次取 20 个标记的单茎。籽粒由人工剥出, 计数粒数, 并测定籽粒鲜重及体积后, 于  $65^\circ\text{C}$  烘 48 h 至恒重后再称干重。鲜籽粒体积用排水法测定; 籽粒鲜重及干重均用万分之一天平称量。籽粒体含水量用下式计算:

$$\text{籽粒含水量}(\%) = \frac{(\text{籽粒鲜重} - \text{籽粒干重})}{\text{籽粒鲜重}} \times 100\%$$

用 SAS 软件进行显著性检验; 用 Origin 7.0 软件来模拟 Logistic 粒重方程模型; 用 Excel 来模拟籽粒体积的二次方程。

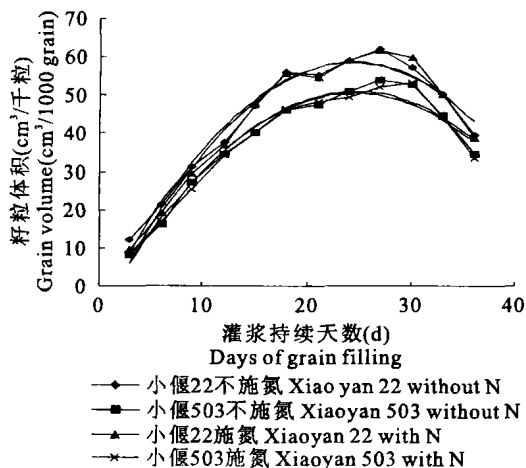


图 1 品种和施氮处理灌浆期籽粒体积的变化

Fig. 1 Variation of grain volume with cultivars and nitrogen

## 2 结果与分析

### 2.1 灌浆过程籽粒体积的变化

小麦籽粒产量取决于单位面积粒数和粒重。粒重与籽粒体积密切相关。不同处理灌浆过程中鲜籽粒体积随灌浆进程的变化见图 1 和图 2。从图 1 和图 2 可以看出, 小麦籽粒体积在灌浆起始阶段快速增大至第 18 d, 在第 19~30 d 缓慢增加, 第 27 d 左右达到最大值, 第 30 d 后又快速下降。2 个品种籽粒体积均呈现相同变化趋势(图 1), 但小偃 22 的籽粒体积始终大于小偃 503。方差分析表明, 其差异达极显著水平( $P < 0.0001$ ), 说明小麦品种不同, 其籽粒体积大小也不同, 显然小偃 22 的库容显著大于小偃 503, 这对小偃 22 形成高产极其有利。施氮对小偃 22 和小偃 503 的籽粒体积无明显影响( $P > 0.05$ )(图 2)。

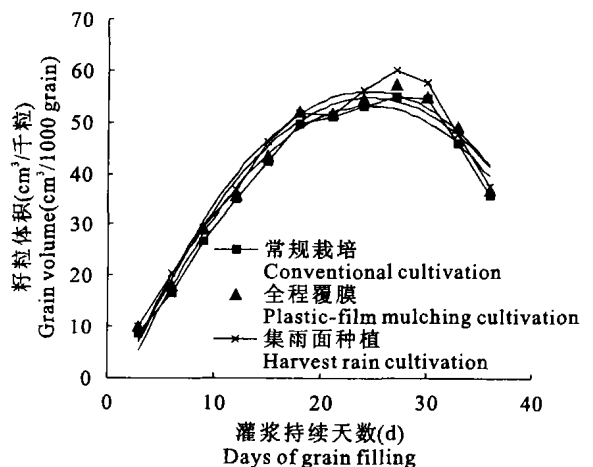


图 2 不同栽培模式处理灌浆期籽粒体积的变化

Fig. 2 Variation of grain volume under different cultivations

不同栽培模式对小麦籽粒体积的影响如图 2 所示。从图 2 可以看出, 虽然不同栽培模式小麦籽粒体积的变化趋势基本相同, 但在不同栽培模式间存在极显著差异 ( $P < 0.01$ )。在集雨面栽培、全程覆膜栽培、常规栽培模式条件下呈下降趋势; 栽培模式和灌浆时间对籽粒体积影响的交互作用不显著。从总体上看, 施氮和栽培模式对籽粒体积的影响远小于品种间的差异, 说明籽粒体积大小主要受遗传控制, 其次才受栽培因子影响。

不同栽培模式、品种和施氮处理下籽粒体积随灌浆进程的变化能够很好地利用一元二次方程拟合 (表 3)。由方程可以获得不同处理下的最大体积和达到最大体积时的灌浆时间, 对回归方程求一级导数, 并令其等于零, 就可获得达到最大籽粒体积时的

灌浆天数  $t_{max}$ , 将  $t_{max}$  代入方程, 可获得最大籽粒体积  $y_{max}$ 。结果表明 (表 3), 不同品种、不同施氮水平、不同栽培模式下, 灌浆期形成最大籽粒体积的时间变化在 24.3~25.7 d 间, 差异很小; 但籽粒最大籽粒体积  $y_{max}$  与  $t_{max}$  不同, 施氮对 2 个品种  $y_{max}$  无明显影响, 但  $y_{max}$  在品种间存在显著差异: 小偃 22 的  $y_{max}$  为 58.326~58.535  $cm^3/1000$  粒, 而小偃 503 的仅为 50.392~50.934  $cm^3/1000$  粒, 这进一步说明小偃 22 为大粒型品种, 对实现高产极其有利; 从不同栽培模式看,  $y_{max}$  在集雨面栽培、覆膜栽培、常规栽培条件下呈下降趋势, 说明集雨面栽培有利于形成大库容, 从而实现高产, 但从整体看, 栽培模式  $y_{max}$  的影响程度小于品种间差异, 表明籽粒最大体积主要受遗传控制, 其次是栽培方式。

表 2 不同处理灌浆期籽粒体积与灌浆时间间的回归方程和最大籽粒体积

Table 2 Maximum grain volume and Equation of Grain volume of different treatments and time of grain filling

处理 Treatment	回归方程 Regression equation ( $y$ 为籽粒体积 grain volume, $t$ 为灌浆时间 filling time)	$R^{2*}$	最大籽粒体积 $y_{max}$ ( $cm^3/1000$ grain)	达到最大体积时间 $t_{max}(d)$
小偃 22 不施氮肥 Xiaoyan22 without N	$y = -0.1142t^2 + 5.5837t - 9.7172$	0.9675	58.535	24.4
小偃 22 施氮 Xiaoyan22 with N	$y = -0.1101t^2 + 5.3426t - 6.4858$	0.9704	58.326	24.3
小偃 503 不施氮 Xiaoyan503 without N	$y = -0.0957t^2 + 4.6991t - 7.2918$	0.9699	50.392	24.6
小偃 503 施氮 Xiaoyan503 with N	$y = -0.0963t^2 + 4.7496t - 7.6287$	0.9731	50.934	24.7
常规栽培 Conventional cultivation	$y = -0.1034t^2 + 5.0645t - 8.9041$	0.9759	53.110	24.5
全程覆膜栽培 Plastic film mulching cultivation	$y = -0.1028t^2 + 5.0478t - 7.3255$	0.9728	54.640	24.6
集雨面栽培 Harvest rain cultivation	$y = -0.1061t^2 + 5.1689t - 7.1131$	0.9639	55.840	24.4

注 Note: \*  $n = 12$ ,  $P < 0.0001$ 。

表 3 灌浆期粒重变化 Logistic 模型及其相关参数

Table 3 Grain weight's Logistic equation in grain filling period and correlation coefficient

处理 Treatment	Logistic 方程 Logistic equation	$R^{2*}$	$W$	$K$
小偃 22 不施氮肥 Xiaoyan22 without N	$P_t = 40.7332 / (1 + 22.6310e^{-0.1817t})$	0.9989	40.7332	0.1817
小偃 22 施氮 Xiaoyan22 with N	$P_t = 38.9105 / (1 + 26.9685e^{-0.2009t})$	0.9992	38.9105	0.2009
小偃 503 不施氮 Xiaoyan503 without N	$P_t = 33.9674 / (1 + 31.1413e^{-0.2325t})$	0.9992	33.9674	0.2352
小偃 503 施氮 Xiaoyan503 with N	$P_t = 34.9162 / (1 + 28.3125e^{-0.2194t})$	0.9995	34.9162	0.2194
常规栽培 Conventional cultivation	$P_t = 35.8552 / (1 + 28.9717e^{-0.2102t})$	0.9995	35.8552	0.2102
全程覆膜栽培 Plastic film mulching cultivation	$P_t = 40.7332 / (1 + 25.6073e^{-0.1870t})$	0.9996	40.7332	0.1870
集雨面栽培 Harvest rain cultivation	$P_t = 35.0754 / (1 + 26.5598e^{-0.2269t})$	0.9964	35.0754	0.2269

注 Note:  $n = 12$ ,  $P < 0.0001$ 。

## 2.2 灌浆过程粒重的变化

从图 3、图 4 看出, 不同处理粒重变化趋势基本一致, 均呈现出“S”型变化曲线, 符合 Logistic 曲线 (表 3)。Logistic 生长方程是 Richards 方程的一种特殊形式 ( $N = 1$ ), 其数学表达式为:

$$P_t = W / (1 + A e^{-kt})$$

式中,  $P_t$  为观测时的粒重,  $t$  为开花至观测时的天

数,  $A$  和  $k$  为不同品种或是在不同栽培条件下的参数, 其中  $k$  为灌浆速率,  $W$  为最大粒重, 二者主要受遗传潜力影响, 到达最大粒重的时间主要受灌浆时间长短及灌浆速率的影响。

从表 3 可以看出, 小偃 22 的最大粒重  $W$  大于小偃 503, 而不同栽培模式的粒重表现为: 地膜覆盖栽培 > 常规栽培、集雨面栽培。施氮对小偃

503 最大粒重有促进作用, 而对小偃 22 表现出一定抑制作用。从总体上看, 小偃 503 的灌浆速率大于小偃 22; 常规栽培和集雨面栽培的灌浆速率大于覆

膜栽培, 这可能与地膜覆盖栽培后期有较快的衰老有关。施氮对灌浆速率的影响与对最大粒重的影响相反。

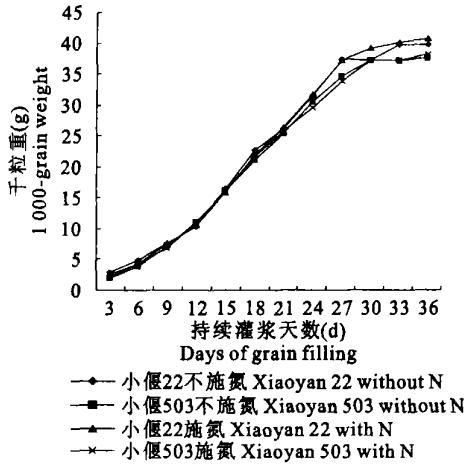


图 3 品种和施氮处理灌浆期粒重的变化

Fig. 3 Variation of grain weight with cultivars and nitrogen

粒重变化总体上经历 3 个时期, 从开花到第 12 d, 为渐增期; 从第 12 d 到第 27 d, 为快增期, 从第 27 d 到灌浆结束, 为缓增期。但 2 个品种粒重间又存在差异, 其差异大小与灌浆进程有关: 在灌浆前期, 2 个品种粒重差异不明显, 在中后期, 差异逐渐增大, 表现为小偃 22 的粒重大于小偃 503; 在灌浆结束时, 小偃 22 千粒重为 37.28 g, 而小偃 503 为 34.33 g。无论施氮与否(图 3), 小偃 22 千粒重明显大于小偃 503, 这可能与小偃 22 具有较大库容有关。方差分析进一步表明, 不同小麦品种间粒重存在极显著差异( $P < 0.0001$ ) (表 2), 这说明不同小麦品种粒重间存在差异。

无论施氮与否, 小麦千粒重变化趋势一致(图

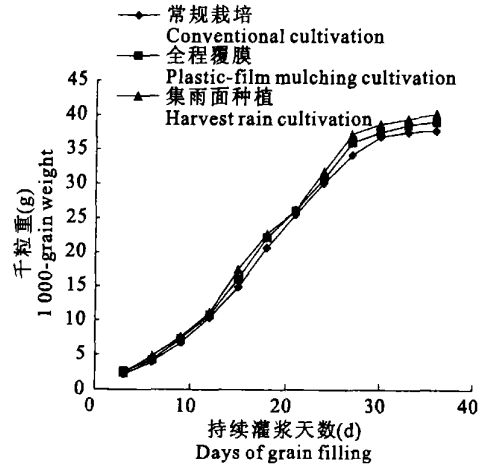


图 4 不同栽培模式处理灌浆期粒重的变化

Fig. 4 Variation of grain weight under different cultivation models

3)。施氮与不施氮粒重几乎相同, 说明在本试验条件下施氮对粒重几乎没有影响。栽培模式对粒重的影响见图 4。不同栽培模式粒重存在极显著差异(表 2), 在灌浆前期各栽培模式粒重差别较小, 随灌浆过程推进, 粒重差异逐渐增大, 其中以集雨面栽培粒重最大, 全程覆膜栽培次之, 常规栽培最小, 与最大粒重有所不同。可见在本地区采用集雨面栽培和覆膜栽培, 特别是集雨面栽培, 有利于增加粒重, 从而达到高产目的。不同栽培模式对不同品种粒重的影响不同, 方差分析结果进一步表明, 栽培模式与品种对粒重的影响存在显著交互作用( $P < 0.05$ ) (表 4), 集雨面栽培小偃 22 粒重最大。

表 4 灌浆期间的千粒重变化的方差分析表

Table 4 ANOVA result of weight per 1000 kernel in grain filling

变异来源 Variation sources	df	SS	S <sup>2</sup>	F	P
栽培模式 Planting models(A)	2	60.5322	30.2661	42.83	< 0.0001
不同天数 Days(B)	11	25968.61387	2360.78308	3340.79	< 0.0001
A × B	22	19.43336	0.88333	1.25	0.2371
品种 Variety(C)	1	44.41407	44.41407	62.85	< 0.0001
A × C	2	4.66774	2.33387	3.3	0.0425
B × C	11	37.41885	3.40171	4.81	< 0.0001
A × B × C	22	9.38874	0.42676	0.6	0.9075
重复 Repetition(R)	1	0.13097	0.13097	0.19	0.6681

### 2.3 灌浆过程籽粒含水量的变化

图 5 和图 6 表示不同处理籽粒含水量的变化特

征。从图中可以看出, 籽粒含水量随籽粒灌浆过程推进呈下降趋势, 即灌浆初期籽粒含水量最高, 收获

期最低, 其变化表现出一定的阶段性, 在灌浆前 12 d 下降比较平缓, 12~ 30 d 下降较快, 30 d 以后快速下降。尽管小偃 22 和小偃 503 在灌浆过程中籽粒含水量的变化趋势一致, 但其籽粒含水量存在一定差异: 小偃 22 籽粒含水量极显著大于小偃 503 ( $P < 0.01$ ); 2 个品种籽粒含水量在开花后第 3 d 相差最

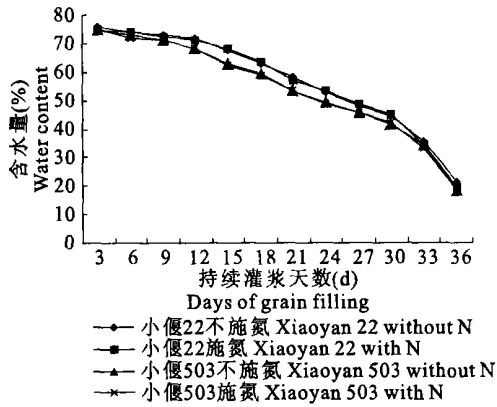


图 5 品种和施氮处理灌浆期籽粒含水量的变化

Fig. 5 Variation of grain water content with cultivar and nitrogen

小, 为 0.31%, 在第 15d 相差最大, 为 5.35%, 成熟时又接近一致, 说明不同品种籽粒含水量的差异主要表现在灌浆中期。施氮和栽培模式对灌浆过程中小麦籽粒含水量没有显著影响 ( $P > 0.05$ ) (图 5 和图 6)。

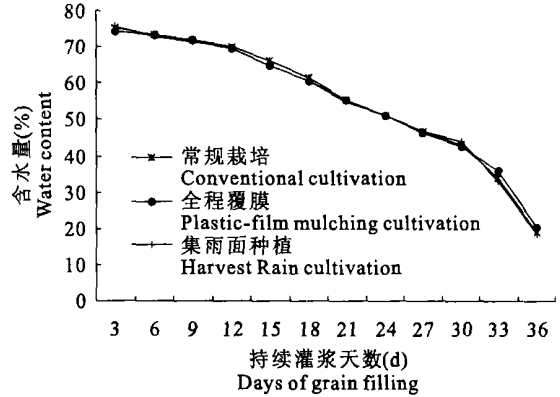


图 6 不同栽培模式处理灌浆期籽粒含水量的变化

Fig. 6 The variation of grain water content with cultivation modules

### 2.4 灌浆过程中籽粒含水量、籽粒体积和千粒重之间的关系

灌浆期籽粒含水量、籽粒体积与粒重间的相互关系见图 7。结果发现, 籽粒体积与含水量、粒重与体积间存在极显著正相关性 (图 7a, b), 而粒重与含

水量间存在显著线性相关关系 (图 7c)。这说明, 在籽粒的灌浆过程中, 决定产量的主要因素之一——粒重, 可能通过改变籽粒含水量和体积予以提高, 也表明在灌浆期可能通过改善土壤水分而影响籽粒体积, 最终实现增加粒重。

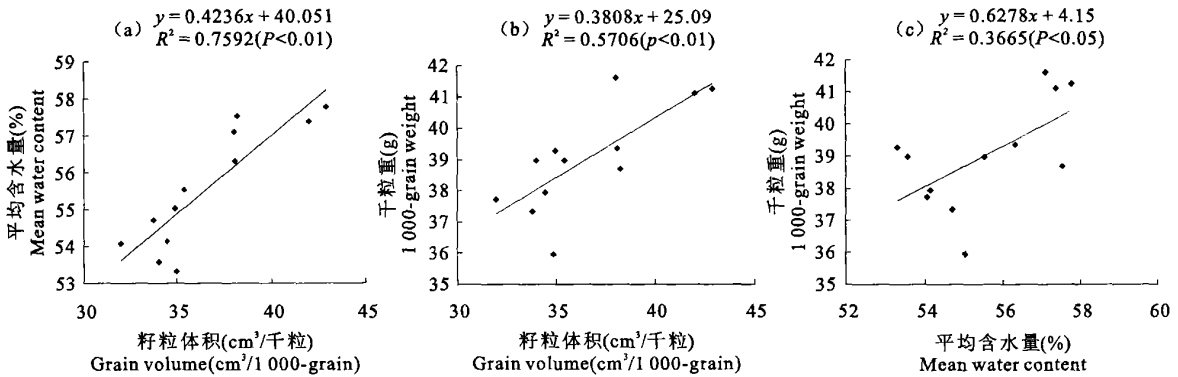


图 7 灌浆期籽粒体积、粒重和含水量间的相互关系

Fig. 7 Relationship between grain volume, grain weight and water content in grain filling period

## 3 讨论

小麦籽粒灌浆特性是确定产量目标制定及育种策略的重要依据。影响小麦灌浆进程的因素有很多, 但主要受遗传控制<sup>[2-6]</sup>, 其次为环境因素, 如氮素对小麦开花后生理有明显影响, 这一时期如果氮素营养不足, 会加速植株茎、叶、鞘中的氮素及早降解, 向籽粒转移, 从而产生早衰<sup>[8]</sup>; 氮素营养同时还

影响小麦穗粒数<sup>[9]</sup>。有研究发现, 中后期追施适量氮肥能延长灌浆持续期, 使千粒重明显增加<sup>[10]</sup>。吴玉娥对高产栽培籽粒灌浆过程进行的研究表明<sup>[11]</sup>, 灌浆时间、平均灌浆速率、渐增期和缓增期的灌浆速率, 是影响小麦粒重形成的主要因素。灌浆持续时间虽与粒重有一定的关系, 但因受品种基因型遗传特性与不可控因素气候条件的影响, 在描述对粒重的影响上不及灌浆速率。灌浆速率的强弱, 对千粒

重起着决定性的作用,它与栽培措施有着密切关系。

本试验结果表明,小麦籽粒体积在灌浆起始阶段快速增长,之后缓慢增长至最大值,而后期快速下降,其变化规律符合一元二次模型。在不同品种、不同施氮水平,不同栽培模式下,灌浆期最大籽粒体积的时间变化在 24.3~25.7 d 间,差异很小;但最大籽粒体积  $y_{\max}$  与  $t_{\max}$  不同,施氮对 2 个品种  $y_{\max}$  无明显影响,但  $y_{\max}$  在品种间存在显著差异:小偃 22 的  $y_{\max}$  为 58.326~58.535  $\text{cm}^3/1000$  粒,而小偃 503 的仅为 50.392~50.934  $\text{cm}^3/1000$  粒,这进一步说明小偃 22 为大粒型品种,对实现高产极其有利;从栽培模式看,  $y_{\max}$  在集雨面栽培、覆膜栽培、常规栽培模式下呈下降趋势,说明集雨面栽培有利于形成大库容,从而实现高产,但从整体看,栽培模式  $y_{\max}$  的影响程度小于品种间差异,表明籽粒最大体积主要受遗传控制,其次是栽培方式。不同处理灌浆期籽粒体积与  $y_{\max}$  相同。

不同处理粒重变化趋势基本一致,均呈现出“S”型变化曲线,呈现出三个生长阶段,即渐增期,快增期和缓增期,与其他研究结果一致<sup>[4,8,12,13]</sup>。小偃 22 的最大粒重  $W$  大于小偃 503,而不同栽培模式的粒重表现为:地膜覆盖栽培>常规栽培、集雨面栽培。施氮对小偃 503 最大粒重有促进作用,而对小偃 22 表现出一定抑制作用。从总体上看,小偃 503 的灌浆速率大于小偃 22;常规栽培和集雨面栽培的灌浆速率大于覆膜栽培,这可能与地膜覆盖栽培后期有较快的衰老有关。施氮对灌浆速率的影响与对最大粒重的影响相反。

本研究中不同品种粒重间存在差异,其差异大小与灌浆进程有关。在灌浆前期,两个品种粒重差异不明显,在中后期,小偃 22 与小偃 503 粒重差异逐渐增大,到灌浆结束时,小偃 22 的千粒重为 37.28 g,而小偃 503 为 34.32 g,小偃 22 粒重显著大于小偃 503 ( $P < 0.0001$ ) (表 4);但在本研究中,施氮并没有显著影响小麦籽粒灌浆特性,施氮与不施氮 2 个小麦品种籽粒千粒重几乎相同,这与过去研究结果不同<sup>[10]</sup>。产生这种差异的原因可能与本试验供试土壤具有较高供氮能力,在灌浆期提供的氮素能够满足灌浆需要有关。不同栽培模式对不同小麦品种粒重的影响也不同,方差分析结果进一步表明(表

4),不仅不同栽培模式间、品种间粒重存在极显著差异( $P < 0.01$ ),而且栽培模式与品种对粒重的影响存在显著交互作用( $P = 0.0425$ ),从全灌浆期平均看,对于小偃 22,粒重在集雨面栽培下最大,为 23.61 g/1000 粒,其次为全程覆膜,为 23.12 g/1000 粒,以常规栽培模式最小,为 22.52 g/1000 粒;而对小偃 503,粒重仍在集雨面栽培模式下最大,为 22.97 g/1000 粒,其次为常规栽培模式,为 22.52 g/1000 粒,以全程覆膜最小,为 20.94 g/1000 粒。以上结果说明,不同栽培模式对小麦粒重的影响不同,并且与品种有关。因此,可以通过改变栽培模式和品种而改变粒重,从而提高产量。

#### 参考文献:

- [1] 李科江,张西科,刘文菊,等.不同栽培措施下冬小麦灌浆模拟研究[J].华北农学报,2001,16(2):70-74.
- [2] Brocklehurst P A. Factors controlling grains weight in wheat[J]. Nature, 1977, 266: 348-349.
- [3] Bruckner P L. Rate and duration of grain filling in spring wheat [J]. Crop Science, 1987, 27(3): 451-455.
- [4] Darroch B A, Baker R J. Grain filling in three spring wheat genotype: Statistical Analysis[J]. Crop Science, 1990, 3: 525-529.
- [5] Nass H G, Rieser B. Grain filling period and grain yield relationship in spring wheat [J]. Canadian Journal of Plant Science, 1975, (27): 673-678.
- [6] 张晓龙.小麦品种籽粒灌浆研究[J].作物学报,1982,8(2):78-93.
- [7] Mi Guohua, Tang Li, Zhang Fusuo, et al. Carbohydrate storage and utilization during grain filling as regulated by nitrogen application in two wheat cultivars[J]. Journal of plant nutrition, 2002, 25(2):213-222.
- [8] 徐向阳,康明辉,何纪安,等.冬小麦籽粒充实度及灌浆模式的研究[J].华北农学报,1998,18(4):8-13.
- [9] Jeuffroy M H, Bouchard C. Intensity and duration of nitrogen deficiency on wheat grain number [J]. Crop Science, 1999, 39: 1385-1393.
- [10] 刘兴海,王树安.中后期重施氮肥对小麦灌浆过程的影响[J].华北农学报,1986,1(4):8-14.
- [11] 吴玉娥.高产小麦籽粒灌浆规律的研究[J].河南职业技术师范学院学报,1999,27(2):4-6.
- [12] 高松洁,王文静,宋家永,等.小麦大粒品种源库特点及其与穗粒重关系的研究[J].华北农学报,2002,17(1):46-50.
- [13] 吴少辉,高海涛,王书飞,等.干旱对小麦粒重形成的影响及灌浆特性分析[J].干旱地区农业研究,2002,20(2):49-51.

## The effects of different cultivation and application of nitrogen fertilizer on the grain filling characteristics of wheat in sub-humid area

REN Shu jie<sup>1,2,4</sup>, LI Shu qing<sup>2,3\*</sup>, ZHENG Jiyong<sup>2,3</sup>, WANG Quanjie<sup>2</sup>, LI Shengxiu<sup>3</sup>

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation; Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. College of Resources and Environmental Sciences,

Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

4. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** A field experiment was conducted on the Earth Cumulic Orthic Anthrosols in south Loess Plateau, to study the effect of nitrogen, cultivars and cultivation model on grain volume, 1000 grain weight and grain water content during the grain filling period of wheat. The results showed that grain volume accorded with quadratic equation of one variable, which increased quickly in the first stage of grain filling, then slowly increased to the maximum and then quickly decreased. In both the grain volume in different grain filling period and the maximum grain volume, Xiaoyan 22 was larger than Xiaoyan 503, the sequence of different cultivation models was: Harvest Rain Cultivation (HRC) > Plastic film Mulching Cultivation (PMC) > Conventional Cultivation (CC), the effect of nitrogen fertilizer on the grain volume wasn't significant, the time to maximum volume in different treatments was about 24.3~25.7 days and the difference wasn't significant. Grain weight change of different treatments showed a "S" curve and accorded with logistic growth model; grain weight of Xiaoyan 22 was larger than that of Xiaoyan 503; the sequence of grain weight in different cultivation models was: PMC > CC > HRC; nitrogen had positive effect on the maximum grain weight of Xiaoyan 22, but negative effect on Xiaoyan 503. In the whole, regards to grain filling rate, Xiaoyan 503 was larger than Xiaoyan 22, CC and HRC were larger than PMC, the nitrogen effect on grain filling rate and grain weight was inverse. The difference of grain weight in wheat cultivars was related with grain filling process, the difference between Xiaoyan 22 and Xiaoyan 503 wasn't significant in the early period, but the difference increased in the middle and late grain filling period, and grain weight of Xiaoyan 22 was significantly larger than that of Xiaoyan 503 in mature. The sequence of grain weight in mature and averagely in the whole gain filling process was: HRC > PMC > CC, which was different from the maximum grain weight. Water content decreased nearly lineally, water content of Xiaoyan 22 was significantly higher than that of Xiaoyan 503, but the effect of wheat cultivars and planting models weren't significantly different. There are linear or significantly linear relationships among grain volume, grain weight and water content.

**Keywords:** wheat; cultivation model; nitrogen fertilizer; grain filling process; grain volume; grain weight