

灌水及化控对不同粒色小麦籽粒 灌浆及叶绿素含量的影响

杨桂霞^{1,2}, 赵广才¹, 许 轲², 常旭虹¹, 杨玉双¹, 马少康¹

(1. 中国农业科学院 作物科学研究所, 北京 100081; 2. 扬州大学 农学院, 江苏 扬州 225009)

摘要: 为了研究灌水和化控处理对不同粒色小麦籽粒灌浆和叶绿素含量的影响, 以3个不同粒色小麦为材料, 采用不同灌水及化控处理, 研究花后小麦颖壳、籽粒、旗叶叶绿素含量、千粒重以及籽粒蛋白质含量的变化情况。结果表明, 花后5~30 d, 灌2水比灌3水处理的干物质积累速度快, 花后15 d和25 d时, 灌2水与灌3水处理的千粒重差异显著。灌水对灌浆速率的影响与千粒重相似。籽粒、颖壳、旗叶叶绿素含量及籽粒蛋白质含量、千粒重、灌浆速率在不同粒色小麦中存在显著或极显著的差异。本试验中化控处理对籽粒灌浆和叶绿素含量均无显著影响。

关键词: 灌水; 化控; 叶绿素; 灌浆; 不同粒色小麦

中图分类号: S152.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2010)04-0152-06

Effects of Irrigation and Chemical Control on Grain Filling and Chlorophyll Content in Wheat with Different Grain Colors

YANG Gui-xia^{1,2}, ZHAO Guang-cai¹, XU Ke², CHANG Xu-hong¹,

YANG Yu-shuang¹, MA Shao-kang¹

(1. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

2. College of Agronomy, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: To study the effects of irrigation and chemical control on grain filling and chlorophyll content in wheat with the different grain colors. The change of chlorophyll content in glumes, grains, flag leaves and the change of 1 000-grain weight and protein content in grains were tested after anthesis in three varieties of wheat with different grain colors by different irrigation and chemical control treatments. The result showed that irrigation 2 times was more faster than irrigation 3 times on the dry matter accumulation rate at 5-30 days after anthesis, there was significant difference in the 1 000-grain weight between irrigation 2 times and 3 times at days 15 and 25 after anthesis. The effect of irrigation on filling rate and 1 000-grain weight were similar. There were significant difference in chlorophyll content of grains, glumes and flag leaves, protein content, 1 000-grain weight and filling rate in wheat with different grain colors. In our experiment chemical control treatment had no significant influence on grain filling and chlorophyll content.

Key words: Irrigation; Chemical control; Chlorophyll; Grain filling; Wheat with different grain colors

水分是决定小麦产量的重要因素。我国北方冬小麦生育期间降水较少, 长期以来主要依靠灌溉维持小麦生产, 日益加重的水资源匮乏对未来小麦生产的可持续性提出了挑战, 迫使人们不断寻求进一步提高小麦水分生产效率的途径^[1,2]。长期以来,

小麦节水灌溉成为研究的热点问题之一, 并取得了丰富的成果^[3,4]。水分生产率提高, 单位产量提高, 作物品质提高等, 但各地生态条件、耕作制度和灌溉制度的差异, 以及随着品种的改良及小麦产量的不断提高, 其研究结果对生产实践的指导意义往往具有

收稿日期: 2010-06-15

基金项目: 国家“十一五”支撑计划资助项目(2006BAD02A13-2-4); 农业部专项(070101)

作者简介: 杨桂霞(1982-), 女, 河南信阳人, 硕士, 主要从事小麦优质高产栽培研究。

通讯作者: 赵广才(1951-), 男, 北京人, 研究员, 博士, 主要从事小麦优质高产栽培研究。

很大的局限性^[5]。化控对不同粒色小麦光合和灌浆的影响鲜见报道。小麦灌浆期是决定籽粒产量的关键期,其光合特性对籽粒产量形成有很大的影响。小麦生育后期旗叶光合作用以及灌浆进程是影响籽粒灌浆的主要因素,进而影响粒重乃至产量形成的生理过程^[6],但是,关于穗部(颖壳和籽粒)光合对小麦籽粒增重的影响研究较少。魏爱丽等^[7]研究表明,穗是小麦光合作用的一个主要的源,穗光合对小麦产量形成起着非常重要的作用。已有研究表明,穗光合对籽粒产量的贡献在 10% ~ 76%^[8]。绿色植物组织中的叶绿素含量反映了组织的光合能力。本试验研究了灌水和化控处理对不同粒色小麦叶绿素和灌浆的影响,以期对有色小麦优质高产栽培提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验地情况

试验于 2008 - 2009 年在中国农业科学院作物科学研究所中圃场试验田(北京)进行。试验地 0 ~ 20 cm 耕层土壤养分含量为有机质 22.29 g/kg,全氮 1.13 g/kg,碱解氮 82.3 mg/kg,速效磷 60.2 mg/kg,速效钾 127.1 mg/kg, pH 8.41。

1.2 试验设计

采用三因素裂区试验设计,主区(B)灌水处理,B1 为返青水(春 1 叶) + 拔节水(春 5 叶尖) + 开花水,B2 拔节水(春 5 叶尖) + 开花水,每次灌水 900 m³/hm²;副区(A)为品种,A1 为皖麦 38(白粒),A2 为绿麦 1 号(绿粒),A3 为 kz6061(紫粒);副副区(C)为化控处理,C1 为起身期喷生长调节剂麦巨金(浓度 0.2% 450 mL/hm²),C2 为对照喷清水。

各处理均施氮素 270 kg/hm²,底追各 50%,追肥时期在拔节期(春 5 叶尖)。底施 P₂O₅ 均为 120 kg/hm²。小区面积 7.2 m²,3 次重复。播种时间为 10 月 7 日,基本苗 180 万/hm²。

1.3 测定项目及方法

籽粒灌浆进程:于开花期每小区挂牌标记同一天开花、发育正常、大小均匀、长势一致的穗子 100 个,并记录每个品种的开花时间。各品种均在开花后每 5 d 取样一次,共 7 次,每次称取 0.2 g 籽粒和 0.1 g 颖壳测定叶绿素含量,剩余的籽粒计数后,在 105℃ 杀青 30 min,80℃ 烘干至恒重,折算成干粒重。用 FOSS 公司的 Kjeltec2300 自动定氮仪测定籽粒蛋白质含量(N × 5.7)。

叶绿素含量:旗叶展开当日开始取样,以后每 7 d 取样一次,至叶片变黄,选取长势一致的旗叶,洗净测定叶绿素含量。旗叶、颖壳和籽粒中的叶绿素

含量采用丙酮 - 无水乙醇浸提法测定。

采用 DPS7.55 (Data Processing System) 软件和 Microsoft Excel 2003 软件处理数据。

2 结果与分析

2.1 不同栽培措施对灌浆的影响

2.1.1 灌水和化控处理对籽粒干物质积累的影响

籽粒干物质积累呈“慢 - 快 - 慢”的“S”型曲线变化过程(不同处理的平均值,图 1),其拟合方程为 $y = 40.51 / (1 + 22.25e^{-0.211x})$ (x 为开花后天数, y 为籽粒干粒重)。从表 1 可见,从花后 5 ~ 30 d,灌 2 水(B2)比灌 3 水(B1)处理的干物质积累速度快,在花后 15 d 和 25 d 时,干粒重差异分别达到极显著和显著差异水平,其他时期测定灌水处理间差异不显著。不同粒色小麦的干物质积累除在花后 10 d 和 30 d 差异不显著外,其余均达显著水平。干物质积累在灌浆前期以绿粒小麦(A2)最高,中期以白粒小麦(A1)最高,到了后期,紫粒小麦干物质积累速度快,干粒重高于白粒和绿粒小麦,其中与绿粒小麦差异达显著水平。在灌浆过程中,化控处理对干物质积累影响不显著,有待进一步验证。方差分析结果表明,灌水 × 品种对花后 15 ~ 20 d 不同粒色小麦干物质积累影响达显著水平,其余互作影响不显著,说明在花后 15 ~ 20 d 灌水和品种互作能提高有色小麦的干物质积累。

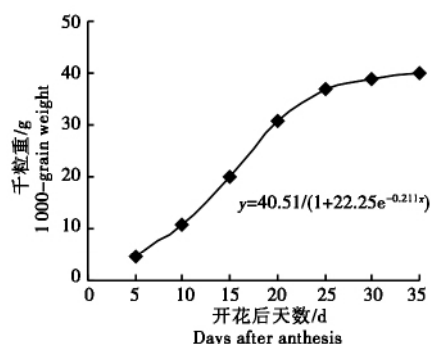


图 1 灌浆籽粒干物质积累

Fig. 1 Dry matter accumulation of grain during filling

2.1.2 灌水和化控处理对灌浆速率的影响

随着开花后天数的增加灌浆速率呈“慢 - 快 - 慢”的抛物线型变化(不同处理的平均值,图 2)。开花后灌浆速率逐步加快,到花后 20 d 时灌浆速率达到峰值,之后迅速下降。从表 2 可以看出,达到峰值之前,灌 2 水比 3 水处理的灌浆速度快,到达峰值后,其灌浆速度下降也快。花后 10 d 灌水处理间籽粒灌浆速率差异显著,其余均不显著,表明增灌返青水不能明显提高小麦的灌浆速率。在峰值之前,白粒小麦(A1)灌浆速度快,其平均灌浆速率比绿粒

(A2) 和紫粒小麦 (A3) 分别高了 0.09 g/d 和 0.13 g/d。峰值之后,其灌浆速度迅速下降,下降速度快于绿粒和紫粒小麦,在灌浆过程中紫粒小麦的灌浆速率与其他粒色小麦相比变化缓慢。不同粒色小麦的灌浆速率除花后 10 d 差异不显著外其余均达到显著或极显著水平,说明灌浆速率在不同粒色小麦间存在差异。化控处理对小麦灌浆速率影响不显著,有待进一步验证。方差分析结果表明,灌水×品种在花后 25 d 时对不同粒色小麦灌浆速率有显著影响,在其他时期其互作不显著。

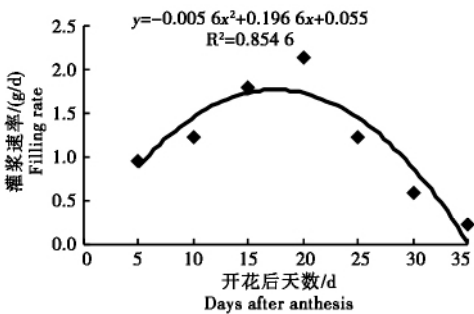


图 2 灌浆速率的变化
Fig. 2 The changes of filling rate

表 1 不同处理不同粒色小麦的千粒重变化

Tab.1 The change of 1 000-grain weight with different treatments in wheat with different grain colors g/d								
处理 Treatment		开花后天数/d Days after anthesis						
		5	10	15	20	25	30	35
灌水	B1	4.37aA	10.05aA	18.92bB	29.82aA	35.79bA	38.18aA	40.13aA
Irrigation	B2	5.15aA	11.78aA	20.98aA	31.48aA	37.85aA	39.24aA	39.78aA
品种	A1	4.95aA	10.60aA	20.82aA	32.87aA	37.8aA	39.70aA	40.17abA
Variety	A2	5.11aAB	11.07aA	19.77bAB	30.07bB	35.75bA	38.07aA	38.56bA
	A3	4.17bB	10.73aA	18.95bB	29.00cB	36.9abA	39.37aA	41.03aA
化控	C1	4.72aA	10.86aA	19.72aA	30.56aA	36.93aA	38.63aA	39.83aA
Chemical control	C2	4.80aA	10.97aA	20.18aA	30.74aA	36.71aA	39.11aA	40.09aA

注: 同一列小写字母代表在 0.05 水平上差异显著,大写字母代表在 0.01 水平上差异显著。下表同。
Note: The small letters stand for significant at 0.05 levels,The capital letters stand for significant 0.01 levels. The same are as in other tables.

表 2 不同处理不同粒色小麦的灌浆速率

Tab.2 Filling rate with different treatments in wheat with different grain colors g/d								
处理 Treatment		开花后天数/d Days after anthesis						
		5	10	15	20	25	30	35
灌水	B1	0.87aA	1.14bA	1.77aA	2.18aA	1.19aA	0.52aA	—
Irrigation	B2	1.03aA	1.33aA	1.84aA	2.10aA	1.28aA	0.31aA	—
品种	A1	1.00aAB	1.19aA	2.04aA	2.35aA	0.99bB	0.14bA	—
Variety	A2	1.02aA	1.19aA	1.74bAB	2.06bB	1.14bB	0.52aA	—
	A3	0.83bB	1.31aA	1.65bB	2.01bB	1.58aA	0.59aA	—
化控	C1	0.94aA	1.23aA	1.77aA	2.17aA	1.27aA	0.34aA	—
Chemical control	C2	0.96aA	1.23aA	1.84aA	2.11aA	1.19aA	0.49aA	—

2.2 叶绿素含量的动态变化

2.2.1 颖壳叶绿素含量的动态变化 从花后 10 d 开始,不同粒色小麦颖壳中叶绿素含量与开花后天数呈负相关,其拟合方程为 $y = -0.0657x + 2.303$ ($R^2 = 0.8552$, x 为开花后的天数, y 为颖壳叶绿素含量)。开花后 10 d 时还维持较高的叶绿素含量,以后随开花天数的增加,颖壳中叶绿素含量呈迅速下降的趋势(表 3)。灌水和化控处理对颖壳中叶绿

素含量均无显著影响。从花后 15 d 开始,颖壳叶绿素含量依次为紫粒 > 白粒 > 绿粒,紫麦颖壳后期含有较高的叶绿素含量有利于光合作用,为紫麦的高产打下了基础。花后不同时期测定,不同粒色小麦颖壳中叶绿素含量差异达到显著或极显著水平。方差分析结果表明,互作对不同时期各品种小麦颖壳叶绿素含量的影响均不显著。

表 3 不同处理不同粒色小麦颖壳的叶绿素含量

Tab.3 Chlorohpyll content with different treatments in wheat with different grain colors mg/g								
处理 Treatment		开花后天数/d Days after anthesis						
		5	10	15	20	25	30	35
灌水	B1	1.57aA	1.75aA	1.64aA	1.30aA	0.51aA	0.03aA	—
Irrigation	B2	1.59aA	1.72aA	1.73aA	1.38aA	0.44aA	0.03aA	—
品种	A1	1.43bB	2.04aA	1.78aA	1.34bB	0.49bB	0.03aA	—
Variety	A2	1.55abAB	1.58bB	1.46bB	0.98bB	0.10cC	0.01bA	—
	A3	1.75aA	1.59bB	1.81aA	1.71aA	0.83aA	0.04aA	—
化控	C1	1.62aA	1.80aA	1.67aA	1.40aA	0.50aA	0.03aA	—
Chemical control	C2	1.53aA	1.67aA	1.70aA	1.29aA	0.45aA	0.03aA	—

2.2.2 籽粒中叶绿素含量的动态变化 随着开花后天数的增加,籽粒中叶绿素含量逐渐降低(表4),二者呈负相关,拟合方程为 $y = -0.0056x + 0.1707$ ($R^2 = 0.9549$), x 为开花后天数, y 为籽粒中叶绿素含量),花后25 d 叶绿素含量趋近于0。灌水和化

控处理对籽粒叶绿素含量的影响均不显著。品种间除花后15 d 外,其余时期测定籽粒叶绿素含量差异均显著。方差分析结果表明,本试验中小麦籽粒叶绿素含量在不同时期各处理间互作均不显著。

表4 不同处理不同粒色小麦籽粒的叶绿素含量

		Tab.4 Chlorophyll content in grain with different treatments in wheat with different grain colors						mg/g
处理 Treatment		开花后天数/d Days after anthesis						
		5	10	15	20	25	30	
灌水	B1	0.11aA	0.13aA	0.10aA	0.06aA	0.03aA	—	
Irrigation	B2	0.14aA	0.12aA	0.10aA	0.06aA	0.02aA	—	
品种	A1	0.13abAB	0.13aA	0.10aA	0.06abA	0.03aA	—	
Variety	A2	0.11bB	0.13aA	0.10aA	0.06bA	0.02bB	—	
	A3	0.14aA	0.12bA	0.10aA	0.07aA	0.02aAB	—	
化控	C1	0.13aA	0.13aA	0.10aA	0.06aA	0.02aA	—	
Chemical control	C2	0.13aA	0.12aA	0.10aA	0.06aA	0.02aA	—	

2.2.3 旗叶叶绿素含量的动态变化 旗叶叶绿素含量变化呈二次抛物线型(不同处理的平均值,图3),拟合方程为 $y = -0.0057x^2 + 0.2061x + 2.5773$ ($R^2 = 0.8916$), x 为旗叶展开后天数, y 为旗叶叶绿素含量)。从表5可见,不同处理旗叶叶绿素含量变化趋势相同,旗叶展开后21 d 叶绿素含量最高,随着生育期的进展逐渐降低。峰值之后,灌3水比灌2水处理叶绿素含量下降的慢,但差异未达显著水平。旗叶展开后14~21 d 测定,各品种旗叶叶绿素含量差异不显著,其余各时期品种间差异均显著。化控处理对旗叶叶绿素含量的影响不显著。方差分析结果表明处理间互作对旗叶叶绿素含量的影响均

不显著。综上所述,旗叶叶绿素含量受品种基因型影响大,受灌水和化控及其互作影响小。

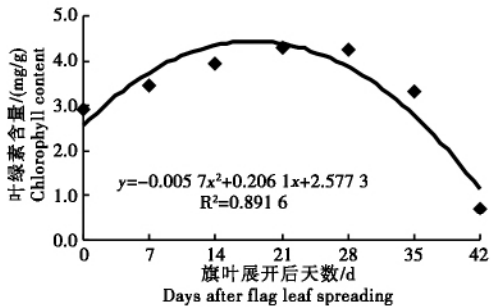


图3 旗叶叶绿素的变化

Fig.3 The changes of chlorophyll in flag leaves

表5 不同处理不同粒色小麦旗叶叶绿素含量

		Tab.5 Chlorophyll content in flag leaves with different treatments in wheat with different grain colors							mg/g
处理 Treatment		旗叶展开后天数/d Days after flag leaf spring							
		0	7	14	21	28	35	42	
灌水	B1	2.72aA	3.52aA	3.84aA	4.31aA	4.23aA	3.38aA	0.73aA	
Irrigation	B2	3.03aA	3.41aA	4.00aA	4.30aA	4.25aA	3.24aA	0.68aA	
品种	A1	2.85bB	3.47bAB	3.93aA	4.18aA	4.36aA	3.21bA	0.60bA	
Variety	A2	2.69cB	3.27cB	4.08aA	4.30aA	4.16bA	3.54aA	0.82aA	
	A3	3.23aA	3.66aA	3.76aA	4.39aA	4.20abA	3.18bA	0.69abA	
化控	C1	3.20aA	3.50aA	3.95aA	4.44aA	4.30aA	3.26aA	0.72aA	
Chemical control	C2	3.05aA	3.43aA	3.90aA	4.14aA	4.18aA	3.36aA	0.69aA	

2.3 籽粒中蛋白质含量的动态变化

本试验中籽粒蛋白质含量(不同处理的平均值)随生育期进展,呈先降再升的二次曲线变化趋势,拟合方程为 $y = 0.0034x^2 - 0.1052x + 13.589$, ($R^2 = 0.4118$), x 为开花后天数, y 为籽粒蛋白质含量)。籽粒蛋白质含量均以花后15 d 降至最低,然后又开始上升。整个灌浆过程中,灌3水比2水处理的籽粒蛋白质平均含量高,提高了2.3%,但差异不显著。不同粒色小麦平均蛋白质含量依次为绿粒

>紫粒>白粒。绿粒小麦分别比白粒和紫粒小麦提高3%和1%。花后10~25 d,不同粒色小麦蛋白质含量差异极显著。化控处理间籽粒蛋白质含量差异不显著。

2.4 籽粒、颖壳叶绿素含量与籽粒灌浆过程的关系

随着生育期进展,千粒重不断增加,而籽粒、颖壳中叶绿素含量逐渐降低(图5)。花后5~25 d,籽粒、颖壳叶绿素含量高时,灌浆速度快,开花25 d 后,籽粒和颖壳中叶绿素含量趋近于0,此时,千粒重增

重缓慢。整个灌浆过程中,叶绿素含量均为颖壳 >

籽粒,表明颖壳对籽粒灌浆的贡献大于籽粒本身。

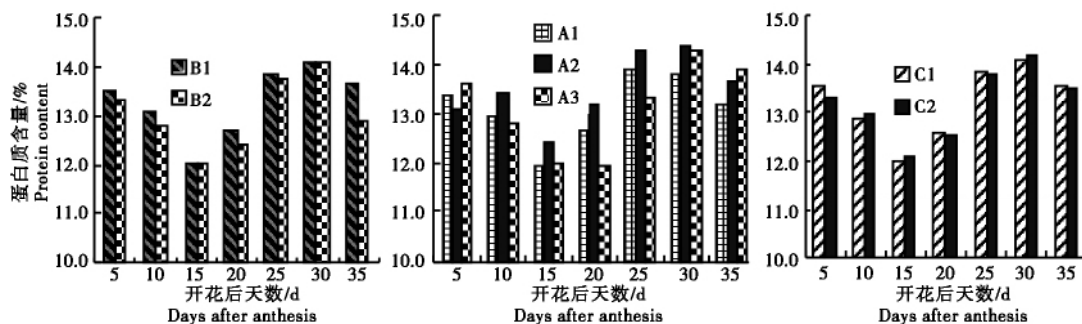


图 4 不同处理不同粒色小麦籽粒中蛋白质含量

Fig. 4 Protein content in grains with different treatments in wheat with different grain colors

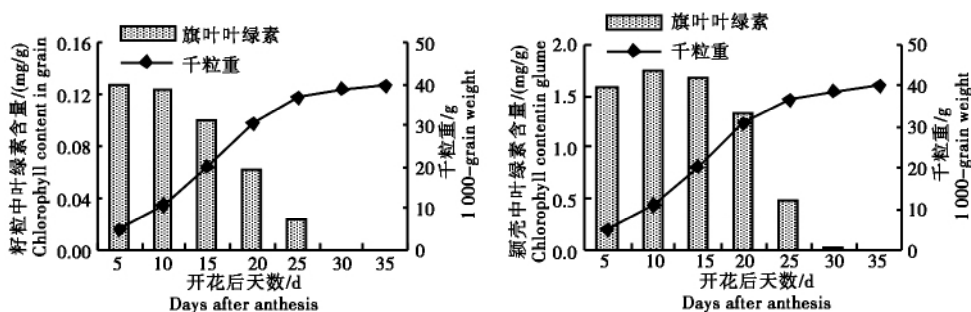


图 5 叶绿素含量与籽粒灌浆过程的关系

Fig. 5 The relationship between chlorophyll content and grain filling

3 讨论

3.1 灌水和化控对灌浆的影响

灌浆是产量形成的最终过程,所有栽培措施产生的效应及品种特性均在灌浆过程中得以集中表现^[9]。有研究表明,地区、年际、栽培条件等对粒重有一定影响^[10]。本试验结果表明,灌浆过程中,不同品种及不同处理千粒重的动态积累过程均呈“慢-快-慢”的“S”型曲线变化,与前人的研究结果一致。有研究认为籽粒灌浆速率在接近成熟时以灌2水的最高,灌1水和灌3水显著降低^[11]。本试验结果表明,灌2水处理的干物质积累速度较灌3水处理的快。灌水对灌浆速率的影响除花后10 d外其余均不显著。在生产实践中,从节约灌溉的角度考虑,建议春季灌2水(春5叶尖水+开花水),节省返青水。灌浆过程中千粒重和灌浆速率在不同粒色小麦中存在差异。Gebeyehou等^[12]研究表明不同小麦品种间粒重差异很大,而粒重的差异主要是由灌浆期灌浆速率不同引起的,灌浆速率主要受遗传因素控制。喷药(麦巨金)对千粒重和灌浆速率均无显著影响,有待进一步探讨。

3.2 灌水和化控对叶绿素含量的影响

本试验中颖壳和籽粒叶绿素含量与开花10 d后的天数呈负相关。旗叶叶绿素含量随开花后天数

的增加先升高再迅速下降,花后21 d旗叶叶绿素含量最高。灌浆后期灌3水比灌2水处理的旗叶叶绿素下降的慢。灌浆期,水分胁迫情况下旗叶光合作用降低^[13]。姚艳荣等^[5]研究表明1 m土层土壤干旱(40% < RSWC < 60%)灌浆后期加速叶绿素的降解,过高的土壤水分(RSWC > 70%)延缓灌浆后期叶绿素的降解,与本试验结果相似。陈娟^[14]的研究结果表明,水稻颖壳和果皮的叶绿素含量远低于叶片,大约为叶片的1/5,本试验中旗叶叶绿素含量远远高于颖壳和籽粒,颖壳叶绿素含量高于籽粒,表明小麦穗部各部位叶绿素含量的差异与水稻相似。喷药处理对颖壳、籽粒、旗叶叶绿素含量的影响均不显著,有待进一步验证。

3.3 灌水和化控对蛋白质含量的影响

本试验结果表明,在灌浆过程中,随着生育期进展,籽粒蛋白质含量呈“快-慢-快”的抛物线型变化,这与很多前人的研究结果一致。Barber等^[15]研究显示籽粒蛋白质含量随灌水次数的增加而降低,赵广才等^[16]通过对不同试点小麦蛋白质含量的研究表明,随灌水次数增加,蛋白质含量呈降低的趋势,但在降水过少的试点增加灌水蛋白质含量有所提高。本试验中灌3水比灌2水处理的籽粒蛋白质含量提高了2.3%,但差异不显著。这可能是因为总灌水次数较少,降水也较少的情况下,增加灌水次

数使籽粒蛋白质含量略有提高。在生产实践中,为了节约水资源,春季灌 2 水比较合理。不同粒色小麦蛋白质含量差异极显著,以绿粒小麦品种的品质较好。化控对籽粒蛋白质含量的影响不显著,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Wang H X, Liu C M, Zhang L. Water-saving agriculture in Chi-Ha: an overview [J]. *Adv Agron*, 2002, 75: 135 - 171.
- [2] 柳斌辉, 孟东霞, 刘子会, 等. 水分胁迫对对不同根型小麦幼苗水分利用率和导水率的影响 [J]. *华北农学报*, 2007, 22(3): 90 - 94.
- [3] Yang J C, Zhang J H, Wang Z Q, *et al.* Activities of key enzymes in sucrose to starch conversion in wheat grains subjected to water deficit during grain filling [J]. *Plant Physiol*, 2004, 135(7): 1621 - 1629.
- [4] 陈晓远, 高志红, 罗远培, 等. 水分胁迫效应对冬小麦生长发育的影响 [J]. *华北农学报*, 2004, 19(3): 43 - 46.
- [5] 姚艳荣, 贾秀领, 张丽华, 等. 水分运筹对不同冬小麦品种旗叶绿素含量的影响 [J]. *华北农学报*, 2008, 23(4): 135 - 139.
- [6] 李世清, 邵明安, 李紫燕, 等. 小麦籽粒灌浆特征及影响因素的研究进展 [J]. *西北植物学报*, 2003, 3(11): 2031 - 2039.
- [7] 魏爱丽, 王志敏. 小麦不同光和器官对穗粒重的作用及基因型差异研究 [J]. *麦类作物学报*, 2001, 21(2): 57 - 61.
- [8] 李秀菊, 职明星, 石小华, 等. 小麦穗光合对不同花位籽粒及颖壳的影响 [J]. *麦类作物学报*, 2006(5): 146 - 148.
- [9] 王建林, 徐正进, 马殿荣. 北方杂交稻与常规稻籽粒灌浆特性的比较 [J]. *中国水稻科学*, 2004, 18(15): 425 - 430.
- [10] 龚月桦, 刘迎洲, 高俊凤. K 型杂交小麦 901 及亲本籽粒灌浆的生长分析 [J]. *中国农业科学*, 2004, 39(7): 1288 - 1292.
- [11] 冯伟, 罗毅, 郭天才, 等. 灌水对不同穗型小麦碳氮代谢及籽粒灌浆的影响 [J]. *麦类作物学报*, 2008, 28(6): 1036 - 1041.
- [12] Gebeyehou G D, Knott R, Baker R J. Rate and duration of grain filling in durum wheat varieties [J]. *Crops Sci*, 1982, 22: 337 - 340.
- [13] Wardlaw I F, Sofield I, Cartwright P M. Factors limiting the rate of dry mater accumulation in the grain of wheat grown at high temperature [J]. *Aust J Plant Physiol*, 1980, 7(4): 387 - 400.
- [14] 陈娟. 水稻花后颖壳和果皮光合特性的研究 [J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(13): 5897 - 5900.
- [15] Barber J S, Tessop R S. Facter affecting yield and quality in irrigated wheat [J]. *Agric Sci Camb*, 1987, 109: 19 - 26.
- [16] 赵广才, 万富世, 常旭虹, 等. 灌水对强筋小麦籽粒产量和蛋白质含量及其稳定性的影响 [J]. *作物学报*, 2008, 34(7): 1247 - 1252.