

水氮耦合对强筋冬小麦子粒蛋白质和淀粉品质的影响

王晓英¹, 贺明荣^{1*}, 李飞¹, 刘永环¹, 张洪华¹, 刘春刚²

(1 山东农业大学农学院/作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018;

2 山东省高唐县农业局, 山东高唐 252800)

摘要: 在高肥力条件下, 研究水氮耦合对小麦子粒产量、蛋白质含量及组成、蛋白质质量、淀粉含量及组成和淀粉品质的影响。结果表明, 无论施氮与否, 灌水均显著提高小麦子粒产量, 同时显著降低子粒粗蛋白、单体蛋白及湿面筋含量; 但不同灌水量间(W_1 、 W_2 、 W_3)差异不显著。在低灌水频次(W_0 、 W_1)条件下, 施氮具有明显的增产效应; 而高灌水频次(W_2 、 W_3), 施氮的增产效应不显著。随着灌水次数增加, 谷蛋白总量保持稳定, 而谷蛋白组分产生了显著的变化, 其中可溶性谷蛋白含量呈上升趋势, 不溶性谷蛋白含量和谷蛋白聚合指数呈下降趋势, 粉质仪参数(形成时间和稳定时间)也呈下降趋势。小麦子粒蛋白质含量及组分和子粒品质均因施氮($N 168 \text{ kg/hm}^2$)而有不同程度的提高, 其中非面筋蛋白(清蛋白和球蛋白)的增加幅度高于面筋蛋白(醇溶蛋白和谷蛋白), 可溶性谷蛋白增加幅度高于不溶性谷蛋白, 即降低了谷蛋白聚合指数。水氮对子粒的淀粉含量及其组成的影响存在明显的交互效应。在不施氮肥条件下, 随灌水次数增加, 支链淀粉和总淀粉含量呈上升趋势; 施氮条件下, 各灌水处理(W_1 、 W_2 、 W_3)的总淀粉和支链淀粉含量均显著高于不灌水处理(W_0), 但各灌水处理间差异不显著。随灌水次数增加, 直链淀粉含量和直/支比均呈下降趋势, 黏度仪指标(峰值黏度、稀懈值、最终黏度和反弹值)均呈上升趋势。施氮在低灌水频次(W_0 、 W_1)条件下促进支链淀粉的合成, 同时降低直链淀粉含量和直/支比; 高灌水频次(W_2 、 W_3)条件下则相反。

关键词: 强筋小麦; 水氮耦合; 蛋白质; 淀粉; 品质

中图分类号: S512.1

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X (2007)03-0361-07

Coupling effects of irrigation and nitrogen fertilizer on grain protein and starch quality of strong-gluten winter wheat

WANG Xiao-ying¹, HE Ming-rong^{1*}, LI Fei¹, LIU Yong-huan¹, ZHANG Hong-hua¹, LIU Chun-gang²

(1 Agronomy College, Shandong Agriculture University/ State Key Laboratory of Crop Biology, Taian 271018, China;

2 Agriculture Bureau of Gaotang County, Shandong Province, Gaotang 252800, China)

Abstract: Effects of irrigation and nitrogen fertilization on the grain yield, protein composition, protein quality, starch composition and starch paste traits of a strong-gluten winter wheat were investigated on a high fertility soil. Compared with non-irrigation treatment, grain yields under irrigation treatments were significantly increased, but the content of grain protein, monomeric protein and flour wet gluten was reduced. There was no significant difference in the above parameters between the irrigation treatments. Nitrogen application could significantly increase grain yield under low irrigation frequency (W_0 and W_1), while neglected effect on yield was observed with high irrigation frequency (W_2 and W_3). With the irrigation frequency increase, glutenin content leveled off, but the changes of glutenin composition were not uniformed, in which the soluble glutenin content was increased, while insoluble glutenin content and polymerization index (insoluble glutenin/total glutenin) were reduced. Both dough development time and stability time were becoming shorter. Nitrogen application improved the content of all grain protein compositions and grain quality, in which the increasing

收稿日期: 2006-03-02 修改稿收到日期: 2006-05-23

基金项目: 科技部“无公害优质小麦生产关键技术集成和产业化示范”项目(2002BA516A12), 山东省科技攻关项目(2006GG2209001)资助。

作者简介: 王晓英(1977—), 女, 山东高唐人, 博士研究生, 主要从事小麦生理生态研究。E-mail: xyw@sdau.edu.cn

* 通讯作者 Tel: 0538-8242309, E-mail: mrhe@sdau.edu.cn

magnitude in non-gluten protein (albumin and globulin) was higher than gluten protein (gliadin and glutenin), and soluble glutenin higher than insoluble glutenin. The interactive effects of irrigation and nitrogen on starch composition were significant. Starch content and amylopectin content was increased with adding irrigation frequency in no nitrogen treatment. Irrigation significant increased starch content and amylopectin content in nitrogen treatment compared to non-irrigation one, but there were no significant difference on starch and amylopectin content between irrigation treatments. Amylose content and the ratio of amylose to amylopectin were reduced while RVA indexes (peak viscosity, breakdown, final viscosity and setback) were increased with adding irrigation frequency. Nitrogen application significantly improved amylopectin content and decreased amylose content in lower frequency irrigation, while amylopectin content was decreased and amylose content was improved by nitrogen application in higher frequency irrigation.

Key words: strong-gluten wheat; coupling of irrigation and nitrogen; protein; starch; quality

水氮运筹显著影响小麦子粒蛋白质质量和淀粉组分,进而影响子粒品质^[1-11]。一般认为,高土壤水分和增加灌水次数,特别是增加开花后灌水次数会导致蛋白质质量变劣^[1, 7];施用氮肥可显著改善子粒蛋白质质量,且随施氮时期延后,此种效应更为明显^[12-14]。关于水氮运筹影响淀粉组分的研究结果尚不完全一致。有研究认为,增施氮肥使直链淀粉和直链/支链淀粉比值均呈下降趋势,可在一定程度上改善面条加工品质^[8]。增加灌水次数有利于增加支链淀粉和总淀粉含量,降低淀粉直/支比^[10];严重干旱降低总淀粉和各组分含量,淀粉直/支比降低^[11];不同类型品种的淀粉特性对水氮运筹反应不同^[15]。目前关于水氮耦合品质效应的研究大多数集中在蛋白质性状方面,对淀粉性状的研究相对较少,且多数试验是在低、中肥力田块上进行的。在高肥力条件下,综合考虑水氮耦合影响蛋白质和淀粉性状的研究尚不多见。为此,设计了高肥力条件

下不同灌水和氮肥的试验,并采用新的蛋白质组分分离方法,研究了水氮耦合对强筋冬小麦子粒蛋白质含量及组成、淀粉含量及组成、品质的影响及其相关性,旨在进一步阐明灌水次数增加导致蛋白质质量变劣的原因,明确水氮对淀粉品质的影响,为优质小麦的定向调优提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与方 法

试验于2003年10月至2004年6月在山东省龙口市北马镇前诸留村进行。供试土壤为棕壤,试验地前茬作物为玉米,一年两熟制度,多年秸秆还田。试验地土壤基本养分含量见表1。小麦生育期内总降水量达228.5 mm,较常年降雨量多11.3 mm,其中播种—冬前82.9 mm、冬前一拔节33.3 mm、拔节—开花28 mm、开花—成熟84.3 mm。

表1 试验用地基本养分含量
Table 1 The content of soil nutrients

土壤深度(cm) Soil depth	有机质(g/kg) Organic matter	全氮(g/kg) Total N	碱解氮(mg/kg) Alkali-hydrolyzed N	速效磷(mg/kg) Available P	速效钾(mg/kg) Available K
0—20	23.8	1.2	102.4	20.5	134
20—40	4.9	0.9	71.6	7.9	87

试验材料用强筋优质冬小麦品种济麦20。试验共设8个处理,重复3次。4个灌水处理为:W₀,全生育期不灌水;W₁,拔节期灌1水;W₂,越冬期、拔节期各灌1水;W₃,越冬期、拔节期、扬花期各灌1水。每次灌水量均为60 mm,用水表控制。2个氮肥处理为:N₀,不施氮肥;N₁,施N 168 kg/hm²,基肥、追肥各半。以普通尿素(含氮45.01%)为氮源。每个处理的磷、钾肥使用量均为P₂O₅ 105 kg/hm²和

K₂O 105 kg/hm²,全部做基肥施入。基肥于播前结合耕翻施用,追施氮肥于拔节末期开沟施入。小区面积为4.5 m×30 m,随机区组排列。小麦于2003年10月4日播种,2004年6月18日收获。除水肥因子外,其它田间管理均按当地小麦管理规程进行。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 品质测定 全麦粉用瑞士Perten公司生产的3100型试验磨磨制,面粉用德国Brabender公司

生产的 Senior 试验磨磨制,细度均为 100 目。子粒蛋白质采用 GB2905-1982 谷类、豆类作物种子粗蛋白质测定法(半微量凯氏定氮法);面粉湿面筋用瑞士 Perten 公司生产的 2200 型面筋洗涤仪,按国标 GB131506-8 测定;Zeleny 沉降值按国际谷物化学学会(AACC)56-61 标准测定;面团流变学特性用德国公司 Brabender 产 810106002 型粉质仪测定。子粒支、直链淀粉含量采用双波长法,参照何照范编著的《粮油子粒品质及其分析技术》。淀粉糊化特性测定用澳大利亚产快速粘度分析仪(RVA)测定。

1.2.2 子粒蛋白质组分的测定 根据 Wang 等^[16-18]的方法进行,略有改动。称量 100 mg 面粉,单体蛋白用 1.0 mL 含有 0.75 mol/L NaI-7.5% 正丙醇溶液提取,用旋涡混合器充分混合,在 30℃ 下用恒温混合器(Eppendorf Thermomixer Comfort)混合 30 min,用冷冻离心机 15000 r/min 离心 5 min,将上清液转移到 5 mL 塑料试管中。将以上步骤重复 3 次,最后将 3 次提取液混合,放在避光处保存备用。可溶性谷蛋白用 1.0 mL 40% 正丙醇溶液提取,方法步骤同单体蛋白提取。不溶性谷蛋白用含有 1.0 mL 0.2% DTT 的 40% 正丙醇溶液提取,提取温度 60℃,方法步骤同单体蛋白提取。蛋白质提取液静置过夜后测定含量。取蛋白质组分提取液 0.4 mL,然后再加入三氯乙酸(TCA)4 mL,混合均匀,静置 40 min,用分光光度计在 590 nm 波长条件下测定溶液的吸光度。再用标准样品的单体蛋白、可溶性谷蛋白、不溶性谷蛋白的吸光度转换成蛋白质的实际含量,进而换算出待测样品的蛋白质组分含量。

试验数据利用 DPS 2003、Originpro 7.5 和 Excel 2003 软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同水氮处理对小麦子粒产量及产量构成因素的影响

表 2 看出,无论施氮还是不施氮,小麦子粒产量均表现为灌水处理显著高于不灌水处理,但灌水处理间差异不显著。在生育期间不灌水(W_0)和拔节期灌 1 水(W_1)条件下,施氮处理(N_1)的子粒产量显著高于不施肥处理(N_0),而灌 2 次和 3 次水(W_2 、 W_3)条件下, N_1 和 N_0 之间差异不显著。说明在灌水较少的情况下,施氮具有明显的增产效应,水氮互作表现为正效应,但在灌水较多的情况下,施氮的增产效应不显著,即水氮互作效应不显著甚至表现为负

表 2 不同水氮处理的小麦子粒产量及产量构成因素
Table 2 Wheat grain yield and yield components of different irrigation and nitrogen treatments

处理 Treat.	穗数 Spike No. ($\times 10^4/\text{hm}^2$)	穗粒数 Grains per ear (No.)	千粒重 1000- grain wt. (g)	子粒产量 Grain yield (kg/hm^2)
W_0N_0	682.2 f	23.0 d	47.2 a	6250.0 d
W_0N_1	705.8 e	25.2 c	46.1 b	7152.3 bc
W_1N_0	733.4 d	27.7 b	42.4 c	7571.6 b
W_1N_1	758.7 bc	29.0 ab	41.8 cd	8149.6 a
W_2N_0	765.3 b	28.0 b	41.9 de	7830.5 ab
W_2N_1	808.1 a	29.2 a	41.0 f	8331.0 a
W_3N_0	739.6 cd	29.0 ab	41.4 ef	7713.6 ab
W_3N_1	760.1 b	29.4 a	40.2 g	7870.6 ab

注:数据后的不同字母表示差异达 5% 显著水平,下同

Note: Different letters mean significant at 5% level; The same symbol is used for table 3 and table 5.

效应。

2.2 不同水氮处理对小麦子粒蛋白质含量、各组分含量及品质的影响

在同一施氮水平下,灌水处理(W_1 、 W_2 、 W_3)的子粒粗蛋白含量、单体蛋白含量(主要由清蛋白、球蛋白和醇溶蛋白组成)及湿面筋含量较不灌水处理(W_0)均显著降低,而灌水处理间差异不显著(表 3)。

在不灌水(W_0)条件下,施氮处理(N_1)的粗蛋白含量和湿面筋含量显著高于不施氮处理(N_0),施氮表现为显著的正效应;灌水(W_1 、 W_2 、 W_3)条件下,粗蛋白含量仍表现为 N_1 显著高于 N_0 ,但湿面筋含量差异不显著,表明灌水对不同蛋白质组分的影响不同,灌水后非面筋蛋白(清蛋白和球蛋白)的增加幅度高于面筋蛋白(醇溶蛋白和谷蛋白)。

表 3 还看出,可溶性谷蛋白含量随灌水次数的增加呈上升趋势,子粒中谷蛋白总量保持稳定,但不溶性谷蛋白含量、及其占谷蛋白总量的比例(即谷蛋白聚合指数)均随灌水次数增加呈下降趋势;面团稳定时间和形成时间亦呈现下降趋势。另一方面,施氮(N_1)使子粒蛋白质总量及组分均有不同程度的提高,子粒品质改善,但谷蛋白聚合指数却呈现下降趋势。相关分析(表 4)表明,可溶性谷蛋白含量与不溶性谷蛋白含量、谷蛋白聚合指数、面团形成时间、稳定时间均呈显著或极显著负相关;不溶性谷蛋白含量、谷蛋白聚合指数均与面团稳定时间、形成时间呈显著正相关。

表 3 不同水氮处理的子粒蛋白质各组分及面粉品质指标

Table 3 Protein composition content and flour quality items of different irrigation and nitrogen treatments

处理 Treat.	子粒粗 蛋白质 Grain protein (%)	单体蛋白 Monomeric protein (%)	可溶性 谷蛋白 Soluble glutenin (%)	不溶性 谷蛋白 Insoluble glutenin (%)	谷蛋白 Glutenin (%)	谷蛋白 聚合指数 Polymeriz. index (%)	沉淀值 Zeleny sedimeng. volume (mL)	湿面筋 Flour wet gluten (%)	面团形 成时间 Dough devel. time (min)	面团稳 定时间 Dough stability time (min)
W ₀ N ₀	13.543 b	6.904 b	1.152 f	5.487 cd	6.639 b	82.6	36.25 c	30.76 b	9.73 a	18.75 a
W ₀ N ₁	14.757 a	7.631 a	1.281 e	5.845 a	7.126 a	82.0	40.50 a	33.53 a	9.85 a	18.80 a
W ₁ N ₀	12.820 c	6.109 c	1.230 e	5.481 cd	6.711 b	81.7	38.00 b	28.33 c	8.13 d	15.70 c
W ₁ N ₁	13.768 b	6.634 b	1.434 d	5.701 b	7.135 a	79.9	38.50 b	28.35 c	8.80 b	17.33 b
W ₂ N ₀	13.001 c	6.191 c	1.398 d	5.412 d	6.810 b	79.5	38.00 b	28.40 c	8.06 d	13.76 d
W ₂ N ₁	14.088 b	6.898 b	1.680 c	5.510 c	7.190 a	76.6	39.00 b	28.55 c	8.43 c	15.16 c
W ₃ N ₀	12.790 c	6.138 c	1.823 b	4.729 e	6.652 b	71.1	38.33 b	29.00 c	7.36 e	11.70 e
W ₃ N ₁	14.018 b	6.749 b	2.168 a	5.101 d	7.269 a	70.2	39.33 b	29.13 c	7.43 e	12.23 e

表 4 蛋白质各性状的简单相关关系

Table 4 Simple relationship of quality characteristics related to protein

	单体蛋白 Monomeric protein	可溶性 蛋白 Soluble glutenin	不溶性 谷蛋白 Insoluble glutenin	谷蛋白 Glutenin content	谷蛋白 聚合指数 Polymeriz. index	沉淀值 Zeleny sedimeng. volume	湿面筋 Flour wet gluten	面团形 成时间 Dough devel. time	面团稳 定时间 Dough stability time
子粒粗蛋白 Grain protein	0.948**	0.076	0.351	0.500	0.019	0.657	0.931**	0.475	0.338
单体蛋白 Monomeric protein		-0.028	0.529	0.544	0.123	0.594	0.840**	0.587	0.491
可溶性谷蛋白 Soluble glutenin			-0.734*	0.660	-0.988**	0.346	-0.039	-0.783*	-0.835**
不溶性谷蛋白 Insoluble glutenin				0.025	0.765*	0.247	0.381	0.812*	0.867**
谷蛋白 Glutenin					-0.608	0.782	0.363	-0.254	-0.270
聚合指数 Polymerization index						-0.266	0.135	0.805*	0.843**
沉淀值 Zeleny sedimentation volume							0.684	-0.076	-0.109
湿面筋 Flour wet gluten								0.445	0.333
面团形成时间 Development time									0.967**

注(Note): * 和 ** 分别表示 0.05、0.01 水平上的差异显著性,下同。* and ** indicate significant at 5% and 1% levels, respectively;

The same symbol is used for table 6.

2.3 不同水氮处理对小麦淀粉含量、各组分含量和品质的影响

图 1 看出,就子粒淀粉含量及其组成而言,水分和氮肥之间存在明显的交互作用。在不灌水或灌水较少(W₀、W₁)条件下,施氮提高支链淀粉含量,同时减少直链淀粉含量,直/支比降低;但灌水较多(W₂、W₃)情况下,施氮则促进直链淀粉的合成,减少支链淀粉的积累,直/支比提高。在不施氮肥(N₀)条件下,支链淀粉和总淀粉含量均随灌水次数增加呈显著上升趋势;在施氮(N₁)条件下,各灌水处理(W₁、W₂、W₃)的总淀粉和支链淀粉含量均显著高于 W₀,各灌水处理间差异不显著。无论施氮与不施氮条件

下,直链淀粉含量和直/支比均随灌水次数增加呈下降趋势。

淀粉糊化特性是衡量小麦面条制作品质的一个重要指标,它不仅影响蒸煮加热的时间和稳定性,而且影响水分的吸收^[19]。本试验结果(表 5)表明,随灌水次数增加,淀粉糊化的峰值黏度、低谷黏度、稀懈值、最终黏度和反弹值均呈上升趋势,淀粉糊化特性改善;施氮对淀粉糊化特性的影响较小。相关分析表明,支链淀粉含量与峰值黏度、稀懈值和反弹值的相关系数分别为 0.874、0.897、0.772,均达显著或极显著正相关;直链淀粉含量和直/支比均与峰值黏度、稀懈值和反弹值呈显著或极显著负相关(表 6)。

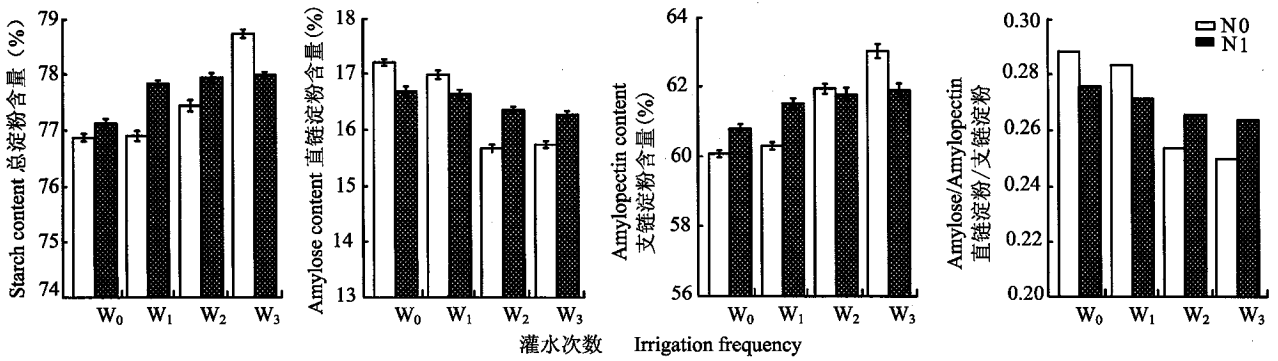


图 1 不同水氮处理对子粒淀粉组分含量及比例的影响

Fig.1 Effect of different irrigation and nitrogen treatments on grain starch components content and ratio

表 5 不同水氮处理的面粉糊化特性

Table 5 Flour paste traits of different irrigation and nitrogen treatments

处理 Treatment	峰值黏度 Peak viscosity (RVU)	低谷黏度 Trough viscosity (RVU)	稀懈值 Break down (RVU)	最终黏度 Final viscosity (RVU)	反弹值 Setback (RVU)	峰值时间 Peak time (min)	糊化温度 Pasting temp. (°C)
W ₀ N ₀	240.88 c	184.88 b	56.00 c	281.8 c	96.92 c	6.56 a	87.23 a
W ₀ N ₁	242.13 c	185.96 b	56.17 c	287.8 b	101.84 b	6.64 a	87.18 a
W ₁ N ₀	242.28 c	185.28 b	57.00 c	288.1 b	102.82 ab	6.60 a	87.18 a
W ₁ N ₁	245.79 b	186.51 b	59.28 b	289.5 b	102.99 ab	6.60 a	87.20 a
W ₂ N ₀	246.17 b	185.75 b	60.42 b	290.3 b	104.55 a	6.60 a	87.23 a
W ₂ N ₁	245.99 b	186.55 b	59.44 b	290.3 b	103.75 a	6.64 a	87.20 a
W ₃ N ₀	253.96 a	191.17 a	62.79 a	295.8 a	104.63 a	6.60 a	86.35 b
W ₃ N ₁	253.50 a	190.46 a	63.04 a	296.4 a	103.94 a	6.56 a	86.35 b

表 6 淀粉各性状的简单相关关系

Table 6 Simple relationship of quality characteristics related to starch

	直链 Amylose (%)	直链/支链 Amylose /Amylopectin	峰值黏度 PV (RVU)	低谷黏度 TV (RVU)	稀懈值 Break down (RVU)	最终黏度 FV (RVU)	反弹值 Setback (RVU)	峰值时间 Peak time (min)	糊化温度 PT (°C)
支链 Amylopectin	-0.904**	-0.947**	0.875**	0.788*	0.897**	0.852**	0.772*	0.118	-0.645
直链 Amylose		0.987**	-0.727*	-0.591	-0.801*	-0.749*	-0.788*	-0.151	0.480
直链/支链 Amylose/Amylopectin			-0.806*	-0.687	-0.861**	-0.812*	-0.793*	-0.136	0.572
峰值黏度 PV				0.963**	0.972**	0.938**	0.657	-0.237	-0.911**
低谷黏度 TV					0.873**	0.890**	0.534	-0.224	-0.971**
稀懈值 Break down						0.924**	0.723*	-0.235	-0.805*
最终黏度 FV							0.846**	-0.004	-0.819*
反弹值 Setback								0.356	-0.408
峰值时间 Peak time									0.382

注(Note): PV—Peak viscosity; TV—Trough viscosity; FV—Final viscosity; PT—Pasting temperature

3 讨论

3.1 灌水和氮肥对小麦子粒蛋白质组分及质量的调控效应

有研究证明,小麦的烘烤品质主要取决于蛋白

质含量和质量。面粉品质性状中蛋白质含量、沉降值、面团形成时间和稳定时间是影响面包和面条品质的共同品质性状,对面包品质均有较大的直线正向作用;在一定范围内,面条总评分随着上述品质参数值的增加而提高,但超过一定范围,面条评分下

降^[19]。谷蛋白是小麦子粒品质的重要决定因素^[20],不溶性谷蛋白和可溶性谷蛋白含量与面包加工品质关系密切,单体蛋白、可溶性谷蛋白和不溶性谷蛋白之间的比例,可能就是面包小麦和面条小麦在蛋白质组成上的本质区别^[21]。王立秋等^[7]的研究表明,灌水量在0~225 mm范围内,增加灌水会降低小麦子粒品质,对烘烤品质有一定的稀释作用,但这种稀释作用可以通过施肥得以缓解。本试验结果表明(表3),灌水量在0~180 mm范围内,各灌水处理(W₁、W₂、W₃)的粗蛋白和湿面筋含量均低于不灌水处理(W₀),但随灌水次数的增加并没有造成粗蛋白和湿面筋含量的进一步下降;而各灌水处理的子粒品质(面团形成时间、稳定时间)均随灌水次数的增加而降低,这难以用稀释效应来解释。分析各灌水处理谷蛋白组分的变化发现,随灌水次数增加,谷蛋白总量无显著变化,而可溶性谷蛋白含量呈上升趋势,不溶性谷蛋白含量、谷蛋白聚合指数均呈下降趋势,面团稳定时间和形成时间也呈现下降的趋势。相关分析表明,不溶性谷蛋白含量、谷蛋白聚合指数均与面团稳定时间、形成时间呈显著正相关;可溶性谷蛋白含量与不溶性谷蛋白含量、谷蛋白聚合指数、面团形成时间、稳定时间均为显著或极显著负相关(表4)。从而可以认为,随灌水次数增加,不溶性谷蛋白的形成受阻可能是小麦面团品质劣变的重要原因。另一方面,施氮能够增加子粒蛋白质的各个组分(包括不溶性谷蛋白)的含量,改善子粒蛋白质质量,但谷蛋白聚合指数降低,即施氮增加可溶性谷蛋白的幅度要大于不溶性谷蛋白,由于灌水导致谷蛋白聚合指数降低的原因是直接降低不溶性谷蛋白含量和提高可溶性谷蛋白含量,所以氮肥只能在一定程度上缓解灌水的不良影响,而不可能实现根本逆转。据此推断,施氮和灌水对蛋白质质量的作用机理存在差异,而水氮影响小麦蛋白质质量的作用机理还有待进一步研究。本试验年份小麦生育期内降雨量比常年稍偏多,推测在此条件下得出的灌水试验结果可以在正常年份重现。

3.2 氮肥和灌水对小麦子粒淀粉组分和淀粉品质的调控效应

淀粉特性对面包品质影响很小^[19],但小麦子粒中淀粉的直/支比、黏度参数等决定着面条加工产品的外观品质和食用品质,小麦胚乳中直链淀粉含量的微弱变化即可导致面食加工品质的明显不同。支链淀粉含量较高时面条的光滑性好,品尝时较爽口;峰值粘度高的面条光滑、有弹性、有咬劲,而稀溲值

与面条光滑性显著正相关,与面条弹性、韧性和爽口性显著负相关^[22]。一些研究结果表明,在0~225 mm范围内,灌水有利于增加支链淀粉和总淀粉含量,降低淀粉直/支比;增施氮肥直链淀粉含量和直/支比呈下降趋势^[9-10]。王月福^[23]提出,在施N 0~240 kg/hm²范围内,氮肥可以提高子粒总淀粉含量及各组分含量,直/支比呈减小趋势。本试验灌水量在0~60 mm范围内,增施氮肥提高了支链淀粉含量和总淀粉含量,降低了直链淀粉含量和直/支比,与前人结果基本一致;而灌水量在120~180 mm范围内,增施氮肥则减少了支链淀粉含量,提高了直链淀粉含量和直/支比,不利于改善小麦面粉面条加工品质。可见,水氮耦合对淀粉组成的影响存在明显的交互作用,淀粉组成与特性的水氮最佳组合还有待进一步研究。

总之,在本试验条件下,从水氮对小麦品质的影响看,随灌水次数增加使小麦蛋白质质量显著下降,而淀粉品质得到改善;施氮可以不同程度地改善子粒蛋白质各性状。在低水分条件下,施氮促进支链淀粉的合成,同时减少直链淀粉的积累,直/支比降低;而在高水分条件下,施氮则促进直链淀粉的合成,减少支链淀粉的积累,直/支比提高。因此,在生产实践中,制定合理的水肥运筹模式,必须统筹考虑水氮对蛋白质质量和淀粉品质影响,实施定向调控,才能够生产出符合最终用途的小麦原粮。

参考文献:

- [1] 许振柱,于振文,王东,张永丽. 灌溉条件对小麦子粒蛋白质组分积累及其品质的影响[J]. 作物学报, 2003, 29(5): 682-687.
Xu Z Z, Yu Z W, Wang D, Zhang Y L. Effects of irrigation conditions on protein composition accumulation of grain and its quality in winter wheat [J]. Acta Agro. Sin., 2003, 29(5): 682-687.
- [2] 兰涛,姜东,谢祝捷,等. 花后土壤干旱和渍水对不同专用小麦子粒品质的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 193-196.
Lan T, Jiang D, Xie Z J et al. Effects of post-anthesis drought and water logging on grain quality traits in different specialty wheat varieties [J]. J. Soil Water Conserv., 2004, 18(1): 193-196.
- [3] 范雪梅,姜东,戴廷波,等. 花后干旱和渍水对不同品质类型小麦子粒品质形成的影响[J]. 植物生态学报, 2004, 28(5): 680-685.
Fan X M, Jiang D, Dai T B et al. Effects of post-anthesis drought and water logging on the quality of grain formation in different wheat varieties [J]. Acta Phytoecol. Sin., 2004, 28(5): 680-685.
- [4] Pechanek U, Karger A, Groger S et al. Effect of nitrogen fertilization on quantity of flour protein components, dough properties, and bread-making quality of wheat [J]. Cereal Chem., 1997, 74(6): 800-805.
- [5] Jia Y Q, Mashou V, Aussenac T et al. Effects of nitrogen fertilization

- and maturation conditions on protein aggregates and on the breakmaking quality of soissons, a common wheat cultivar [J]. *Cereal Chem.*, 1996, 73(1): 123-130.
- [6] Johansson E, Prieto-Linde M L, Jonsson J O. Effects of wheat cultivar and nitrogen application on storage protein composition and breadmaking quality[J]. *Cereal Chem.*, 2001, 78(1): 19-25.
- [7] 王立秋,靳占忠,曹敬山,王占宇.水肥因子对小麦子粒及面包烘烤品质的影响[J].*中国农业科学*,1997,30(3): 67-73.
Wang L Q, Jin Z Z, Cao J S, Wang Z Y. Effects of irrigation fertilization on wheat grain and breadmaking quality[J]. *Sci. Agric. Sin.*, 1997, 30(3): 67-73.
- [8] 曹承富,孔令聪,汪建来,等.施氮量对强筋和中筋小麦产量和品质及养分吸收的影响[J].*植物营养与肥料学报*,2005,11(1): 46-50.
Cao C F, Kong L C, Wang J L *et al.* Effects of nitrogen on yield, quality and nutritive absorption of middle and strong gluten wheat [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2005, 11(1): 46-50.
- [9] 王晨阳,马冬云,朱云集,等.小麦不同水氮运筹对面条煮制品质的影响[J].*中国农业科学*,2004,37(2): 256-262.
Wang C Y, Ma D Y, Zhu Y J *et al.* Effects of different irrigation and nitrogen application regimes in winter wheat on cooking qualities of Chinese noodle [J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2004, 37(2): 256-262.
- [10] 王晨阳,马冬云,郭天财,等.不同水氮处理对小麦淀粉组成及特性的影响[J].*作物学报*,2004,30(8): 843-846.
Wang C Y, Ma D Y, Guo T C *et al.* Effects of different irrigation and nitrogen application regimes on starch components and paste properties of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Acta Agron. Sin.*, 2004, 30(8): 843-846.
- [11] 许振柱,于振文,张永丽.土壤水分对小麦子粒淀粉合成和积累特性的影响[J].*作物学报*,2003,29(4): 595-600.
Xu Z Z, Yu Z W, Zhang Y L. The effects of soil moisture on grain starch synthesis and accumulation of winter wheat [J]. *Acta Agron. Sin.*, 2003, 29(4): 595-600.
- [12] 于振文,田奇卓,潘庆民,等.黄淮海区冬小麦超高产栽培的理论与实践[J].*作物学报*,2002,28(5): 577-585.
Yu Z W, Tian Q Z, Pan Q M *et al.* Theory and practice on cultivation of super high yield of winter wheat in the wheat fields of yellow river and huaihe river districts [J]. *Acta Agron. Sin.*, 2002, 28(5): 577-585.
- [13] 戴廷波,孙传范,荆奇,等.不同施氮水平和基追比对小麦子粒品质形成的调控[J].*作物学报*,2005,31(2): 248-253.
Dai T B, Sun C F, Jing Q *et al.* Regulation of nitrogen rates and dressing ratios on grain quality in wheat [J]. *Acta Agron. Sin.*, 2005, 31(2): 248-253.
- [14] 贺明荣,杨雯玉,王晓英,等.不同氮肥运筹模式对冬小麦子粒产量品质和氮肥利用率的影响[J].*作物学报*,2005,31(8): 1047-1051.
He M R, Yang W Y, Wang X Y *et al.* Effects of different N management modes on grain yield and quality as well as fertilizer N use efficiency of winter wheat[J]. *Acta Agron. Sin.*, 2005, 31(8): 1047-1051.
- [15] 姜东,谢祝捷,曹卫星,等.花后干旱和渍水对冬小麦光合特性和物质运转的影响[J].*作物学报*,2004,30(2): 175-182.
Jiang D, Xie Z J, Cao W X *et al.* Effects of post-anthesis drought and water logging on photosynthetic characteristics, assimilates transportation in winter wheat [J]. *Acta Agron. Sin.*, 2004, 30(2): 175-182.
- [16] Wang C, Kovacs M I P. Swelling index of glutenin test I. Method and comparison with sedimentation, gel-protein, and insoluble glutenin tests[J]. *Cereal Chem.*, 2002, 79(2): 183-189.
- [17] Wang C, Kovacs M I P. Swelling index of glutenin test II. Application in predication of dough properties and end-use quality [J]. *Cereal Chem.*, 2002, 79(2): 190-196.
- [18] Wang C, Kovacs M I P. Swelling index of glutenin test for predication of durum wheat quality [J]. *Cereal Chem.*, 2002, 79(2): 197-202.
- [19] 杨金,张艳,何中虎,等.小麦品质性状与面包和面条品质关系分析[J].*作物学报*,2004,30(8): 739-744.
Yang J, Zhang Y, He Z H *et al.* Association between wheat quality traits and performance of pan bread and dry white Chinese noodle[J]. *Acta Agron. Sin.*, 2004, 30(8): 739-744.
- [20] 王月福,于振文,李尚霞,余松烈.施氮量对小麦子粒蛋白质组含量及加工品质的影响[J].*中国农业科学*,2002,35(9): 1071-1078.
Wang Y F, Yu Z W, Li S X. Effects on nitrogen application amount on content of protein components and processing quality of wheat grain [J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2002, 35(9): 1071-1078.
- [21] 胡新中,魏益民,张国权,等.小麦子粒蛋白质组分及其与面条品质的关系[J].*中国农业科学*,2004,37(5): 739-743.
Hu X Z, Wei Y M, Zhang G Q *et al.* Protein fractions of wheat and their relationships with noodle quality [J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2004, 37(5): 739-743.
- [22] 王晨阳,何英,方保停,等.小麦子粒淀粉合成、淀粉特性及其调控研究进展[J].*麦类作物学报*,2005,25(1): 109-114.
Wang C Y, He Y, Fang B T *et al.* Advances in starch synthesis, starch properties in wheat grain and their agronomic regulation[J]. *J. Triticeae Crops*, 2005, 25(1): 109-114.
- [23] 王月福,于振文,李尚霞,余松烈.小麦子粒灌浆过程中有关淀粉合成酶的活性及其效应[J].*作物学报*,2003,29(1): 75-81.
Wang Y F, Yu Z W, Li S X, Yu S L. Activity of enzymes related to starch synthesis and their effect during the filling of winter wheat [J]. *Acta Agron. Sin.*, 2003, 29(1): 75-81.