

施氮量和花后土壤含水量对优质 强筋小麦产量和品质的影响

赵长星^{1,2}, 马东辉¹, 王月福^{1,*}, 林 琪¹, 吴 钢², 邵宏波³, Cheruth Abdul JALEEL⁴

(1. 青岛农业大学植物科技学院, 青岛 266109; 2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

3. 青岛科技大学生命科学研究所, 青岛 266042;

4. Stress Physiology Lab, Department of Botany, Annamalai University, Annamalai Nagar 608 002, Tamilnadu, India)

摘要:在防雨池栽条件下,研究了施氮量和花后土壤含水量对优质强筋小麦产量和品质的影响。结果表明,在同一施氮量条件下,表现为花后土壤含水量过高(80%~90%)或过低(40%~50%)导致穗粒数减少,千粒重降低,最终使产量降低。在同一土壤含水量下,表现为增加施氮量有利于提高穗数,但过多(300kg/hm²)或过少(150kg/hm²)施氮均不利于穗粒数和千粒重的提高,而导致减产。在同一土壤含水量下,总蛋白质、醇溶蛋白、麦谷蛋白含量及谷/醇比随着施氮量的增加而增加。在同一施氮量条件下,总蛋白质及各组分均随着土壤含水量的增加而降低,同时谷/醇比也降低。在同一施氮量下,花后土壤含水量过高(80%~90%)或过低(40%~50%)均不利于淀粉及其组分含量的提高。在同一土壤含水量下,过高(300kg/hm²)或过低(150kg/hm²)施用氮肥均不利于淀粉及其组分含量的提高。只有保持适宜的花后土壤含水量和施适宜的氮肥才有利于支/直比的提高。适量增施氮肥或花后土壤含水量适宜可提高小麦的加工品质。这说明在小麦生产中可以通过施用氮肥和控制花后土壤水分含量技术,调控小麦品质和产量的形成,从而实现优质高产。

关键词:施氮量;土壤含水量;小麦;产量;品质

文章编号:1000-0933(2008)09-4396-09 中图分类号:Q142,S314,S512.1 文献标识码:A

Effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis soil water content on yield and quality of high-quality strong gluten wheat

ZHAO Chang-Xing^{1,2}, MA Dong-Hui¹, WANG Yue-Fu^{1,*}, LIN Qi¹, WU Gang², SHAO Hong-Bo³, Cheruth Abdul JALEEL⁴

1 College of Plant Science and Technology, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

2 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology Research Center for National Status, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

3 Institute of Life Sciences, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266042, China

4 Stress Physiology Lab, Department of Botany, Annamalai University, Annamalai Nagar 608 002, Tamilnadu, India

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4396 ~ 4404.

Abstract: Effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis SWC (soil water content) on yield and quality of high-quality

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30471026);青岛农业大学博士启动基金资助项目(630523);国家粮食科技丰产工程资助项目(2006BAD02A00)

收稿日期:2007-09-19; **修订日期:**2008-01-16

作者简介:赵长星(1976~),男,山东曹县人,博士,副教授,主要从事作物水分生理生态研究. E-mail: zhaochangxing@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangyuefu01@163.com

Foundation item: The project was financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 30471026) and the Doctor Initializing Foundation of Qingdao Agricultural University (No. 630523)

Received date: 2007-09-19; **Accepted date:** 2008-01-16

Biography: ZHAO Chang-Xing, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in crop water physiology and ecology. E-mail: zhaochangxing@126.com

strong gluten wheat were tested under proof-rainfall pool culture condition. The results showed that over high SWC (80%—90%) or over low SWC (40%—50%) after anthesis could cause the decrease of kernel number per spike, thousand kernel weight (TKW) and final yield under the same nitrogen fertilizer rate. Under the same SWC, it indicated that the increase of nitrogen fertilization was favor to the improvement of kernel number per spike, but too much (300kg/hm²) or too shortage (150kg/hm²) nitrogen fertilization was unfavorable to the increase of kernel number per spike and TKW, at last, it could lead to yield decrease. Moreover, Total protein content, Gliadin, Glutenin, and Glisidin to Glutenin ratio could arise with the increase of nitrogen fertilizer rate under the same SWC. Under the same nitrogen fertilizer rate, Both total protein and its component content decreased with the increase of SWC, meanwhile, Glisidin to Glutenin ratio was reduced. In addition, over high SWC (80%—90%) or over low SWC (40%—50%) after anthesis was unfavorable to the increase of starch and its component content. However, too much (300kg/hm²) or too shortage (150kg/hm²) nitrogen fertilization was unfavorable to the improvement of starch and its component content. Only keeping suitable SWC after anthesis and nitrogen fertilization can benefit the improvement of Amylopectin to Amylose ratio. Consequently, proper enhancement in nitrogen fertilization or suitable SWC improved the processing quality of wheat grain. It can be concluded that the techniques of suitable nitrogen application and SWC controlling after anthesis can regulate and control the formation of quality and yield of wheat, in order to realize good quality and high yield in wheat production.

Key Words: nitrogen fertilizer rate; soil water content; wheat (*Triticum aestivum* L.); yield; quality

施氮和灌水是提高小麦产量和改善品质的两项重要措施^[1]。山东省是我国优质强筋小麦主产区,但小麦生育期间干旱少雨,尤其是开花后易受干旱、干热风等不利因素的影响,成为制约小麦生产发展的主要障碍^[7]。多数研究表明,增施氮肥有利于提高小麦产量和蛋白质含量^[2,3],灌水对蛋白质形成具有一定的稀释作用^[4~6]。小麦植株对氮肥的吸收利用取决于土壤水分状况,水分和氮肥间存在着明显的协同交互效应^[8,9]。小麦开花后是小麦产量和品质形成的关键时期,因此,合理运筹氮肥和小麦花后土壤水分状况是提高小麦产量、改善品质的重要途径。范学梅等研究了小麦开花后渍水和干旱逆境下施用氮肥对小麦的影响,结果表明,小麦开花后渍水和干旱逆境下施用氮肥对小麦旗叶光合速率和籽粒淀粉积累有明显的调节效应,土壤干旱和渍水下增施氮肥降低直链和支链淀粉积累速率,提高蛋白质含量,且适宜水分或亏缺条件下,增施氮肥可以提高蛋白质积累量,而渍水下增施氮肥不利于蛋白质积累^[10,11]。目前,国内外有关小麦花后水分互作效应的研究相对较少,因此,仍需要进一步加强花后不同肥水条件下生长调节对小麦籽粒品质的形成及调控机制方面的研究。为此,本试验在防雨池栽条件下,研究了施氮量和花后土壤相对含水量对优质强筋小麦产量和品质的影响,以期科学合理的补水灌溉和施用氮肥提供理论依据,对于深化小麦品质生理生态研究和指导专用小麦调优栽培具有重要的理论意义和应用前景。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2004~2006年两个小麦生长季节(此文数据为2a试验数据的统计结果),在青岛农业大学防雨池栽条件下进行,水泥池面积为2 m×2 m,深1.5 m,不封底,小麦全生育期防降水。潮棕壤土,0~20 cm土壤有机质1.12%,水解氮84.54mg/kg,速效磷32.40mg/kg,速效钾80.10mg/kg,土壤容重1.34g/cm³,含水量为田间最大持水量25%。

试验设公顷施纯氮150、225、300kg 3个处理,每个氮肥处理均设置小麦开花后土壤相对含水量为田间最大持水量的40%~50%、60%~70%、80%~90% 3个处理,共计9个处理,随机区组排列,重复3次。

小麦开花期前各处理保持相同的土壤相对含水量(65%),从开花期开始进行水分处理,每隔5d测量1m深土壤相对含水量,补充水分达到各处理要求并保持稳定的含水量。

各处理均按公顷施有机(基)肥45000kg、P₂O₅225kg、K₂O 112.5kg、硫酸锌15kg、硼砂15kg,连同50% 氮

肥撒施地表后耕翻于地下,剩余 50% 的氮肥于拔节期结合灌水进行追施。供试品种为优质强筋冬小麦 (*Triticum aestivum* L.) 济麦 20,基本苗为 180 万株/hm²,其余管理措施同一般高产大田。

1.2 测定项目与方法

土壤含水量采用美国产 503DR 智能型中子水分仪,同时结合烘干法进行测定。成熟时调查亩穗数、穗粒数和千粒重,每池实收 1m²测产,折算成每公顷产量。小麦籽粒贮藏 3 个月后测定品质。

籽粒蛋白质含量测定:用瑞士 FOSS TECTOR 公司生产的 Kjeltac2300 自动定氮仪测定,含氮量乘以 5.7 为蛋白质含量。籽粒蛋白质及其组分含量测定:用蛋白质组分的连续提取法进行^[18]。籽粒淀粉含量及其组分含量测定:双波长比色法^[18]。

籽粒容重:采用上海衡器总厂东衡生产的 HGT-1000 型容重器测定。出粉率测定:使用法国特里百特-雷诺肖邦公司生产的肖邦 CD1 实验磨粉机,磨粉后计算得出出粉率。湿面筋含量:参照国标 GB5506-85 手洗法测定。SDS-沉降值测定:称取 2g 面粉于 50ml 量筒中,加入 25ml 浓度 10mg/l 的溴酚蓝溶液,震荡 5min。加入 25ml 乳酸-SDS 工作液,立即震荡 15min,静止 20min。

拉伸仪指标:使用 JMLD150 面团拉伸仪,测定 135min 的拉伸指标。吹泡稠度仪指标:用法国特里百特-雷诺肖邦公司生产的 NG 型吹泡稠度仪进行吹泡和稠度分析^[10,11]。粘度仪指标:用澳大利亚 NEWPORT 科学仪器公司产快速粘度仪测定^[10,11]。

1.3 数据处理方法

实验数据采用 Excel 和 SPSS(10.0)统计软件进行处理与分析,其中用 *t* 检验进行各处理组间的显著性差异分析。

2 结果与分析

2.1 施氮量和花后土壤相对含水量对小麦产量及其构成因素的影响

小麦产量主要取决于穗粒数及千粒重。由表 1 可以看出,在 3 个氮肥水平下,各水分处理间小麦亩穗数差异不显著。各氮肥水平下,均表现为花后土壤相对含水量 60% ~ 70% 处理的穗粒数和千粒重最高,40% ~ 50% 处理最低,80% ~ 90% 处理居中。结果表明花后土壤相对含水量过高或过低均导致穗粒数减少,千粒重降低,最终使产量降低。

表 1 施氮量和花后土壤含水量对小麦产量及其构成因素的影响

Table 1 Effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis soil water content on wheat yield and its component factors

处理 Treatment		穗数(×10 ⁴ 个/hm ²) Spike numbers (×10 ⁴ /hm ²)	穗粒数(个) Kernels per spike	千粒重 1000-grain weight (g)	产量 Yield (kg/hm ²)
施氮量 Nitrogen fertilizer rate (kg/hm ²)	含水量 Soil water content (%)				
150	40 ~ 50	649.2c	32i	33.9h	5979.5i
	60 ~ 70	645.5c	38c	38.0c	7624.4d
	80 ~ 90	647.3c	36f	36.1f	6691.5g
225	40 ~ 50	663.3b	34g	34.6g	6920.4f
	60 ~ 70	666.9b	39a	41.0a	8643.2a
	80 ~ 90	665.6b	37d	37.4d	7857.8c
300	40 ~ 50	680.3a	32h	32.9g	6146.3h
	60 ~ 70	682.5a	38b	38.0b	8215.2b
	80 ~ 90	681.6a	37e	36.2e	7439.1e

不同字母表示在 5% 水平上差异显著 Different letters denote significant differences at 5% level

与此同时,同一土壤相对含水量下,穗数均表现为随着施氮量增加而增加,施纯氮 225kg/hm²处理穗粒数最多,300kg/hm²处理穗粒数次之,150 kg/hm²的处理穗粒数最少。在 3 个土壤相对含水量下,施氮对千粒重的影响表现不一致。如花后土壤缺水(40% ~ 50%),225 kg/hm²处理的千粒重表现最高,其次为 150 kg/hm²的处理,而 300kg/hm²的处理出现最低;在土壤相对含水量为 60% ~ 70% 和 80% ~ 90% 的处理下,225kg/hm²

处理的千粒重最高,300kg/hm²的处理次之,150kg/hm²的处理最低。在3个土壤相对含水量下,籽粒产量均表现为225kg/hm²处理最高,300kg/hm²处理次之,150kg/hm²处理最低。上述结果表明适当地增加施氮量有利于提高穗数,但过多或过少施氮均不利于穗粒数和千粒重的提高,最终导致减产。

2.2 施氮量和花后土壤相对含水量对小麦品质的影响

2.2.1 对小麦籽粒蛋白质及其组分含量的影响

由表2可见,同一土壤相对含水量下,蛋白质含量随着施氮量的增加而增加,并且不同氮肥处理间差异显著($P < 0.05$)。而同一施氮量条件下,蛋白质含量随着土壤相对含水量的增加而减少,而且不同水分处理间差异显著($P < 0.05$)。

表2 施氮量和花后土壤含水量对小麦籽粒蛋白质及其组分含量的影响

Table 2 Effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis soil water content on protein and its component content in wheat grain

处理 Treatment		蛋白质	清蛋白	球蛋白	醇溶蛋白	谷蛋白	谷/醇比
施氮量	含水量	Protein	Albumin	Globulin	Gliadin	Glutenin	Glislin/ Glutenin
Nitrogen fertilizer rate (kg/hm ²)	Soil water content (%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
150	40 ~ 50	16.3d	2.5	1.9	4.3	6.3	1.47
	60 ~ 70	16.0e	2.7	2.0	4.1	5.7	1.42
	80 ~ 90	15.0g	2.5	1.9	3.9	5.3	1.38
225	40 ~ 50	17.7b	2.7	2.1	4.5	6.8	1.53
	60 ~ 70	16.9c	2.8	2.2	4.1	5.9	1.45
	80 ~ 90	15.8f	2.7	2.0	4.0	5.6	1.41
300	40 ~ 50	18.1a	2.7	1.9	4.7	7.2	1.54
	60 ~ 70	17.6b	2.7	1.9	4.6	6.6	1.46
	80 ~ 90	17.0c	2.6	1.8	4.4	6.3	1.43

不同字母表示在5%水平上差异显著 Different letters denote significant differences at 5% level

同时分析表明,同一土壤相对含水量下,就籽粒蛋白组分中清蛋白和球蛋白含量而言,表现为225kg/hm²处理最高,其次为300kg/hm²处理,最低则为150kg/hm²处理。同时,醇溶蛋白、麦谷蛋白含量及谷/醇比表现为随施氮量增加而提高。同一施氮量下,清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和麦谷蛋白含量均随土壤相对含水量增加而降低,同时谷/醇比也降低。说明一定条件下,适量地增加施氮量能够增加醇溶蛋白、麦谷蛋白和总蛋白质含量,提高谷/醇比;花后过高的土壤相对含水量不利于籽粒蛋白质及各组分含量的提高。

2.2.2 对小麦籽粒淀粉及其组分含量的影响

表3表明,同一施氮量,总淀粉、直链和支链淀粉含量均表现为花后土壤相对含水量60%~70%处理的最高,80%~90%处理居中,40%~50%处理最低,说明了花后土壤相对含水量过高或过低均不利于淀粉及其组分含量的提高。同一土壤相对含水量下,总淀粉、直链及支链淀粉含量均表现为225kg/hm²处理最高,300kg/hm²处理次之,150kg/hm²处理最低。可以得知过高或过低施用氮肥均不利于淀粉及其组分含量的提高。

分析表明(表3),同一施氮量下,支/直比则均表现为花后土壤相对含水量60%~70%处理的最高,80%~90%处理居中,40%~50%处理最低,在同一土壤相对含水量下,支/直比则均表现为225kg/hm²处理最高,300kg/hm²处理次之,150kg/hm²处理最低。说明花后土壤相对含水量和施氮量过高或过低均不利于支/直比的提高,只有保持适宜的花后土壤相对含水量和施适宜的氮肥才有利于支/直比的提高。

2.2.3 对容重、出粉率、湿面筋含量、沉降值的影响

由表4可以看出,容重和出粉率的变化趋势基本一致,即在同一施氮量下,容重和出粉率均表现为60%~70%处理的最高,80%~90%处理居中,40%~50%处理最低,表明保持花后适宜的土壤相对含水量可以提高小麦籽粒的容重和出粉率。同一土壤相对含水量下,容重和出粉率则表现为225kg/hm²处理 > 150kg/hm²

处理 $> 300\text{kg}/\text{hm}^2$ 处理。说明适当增施氮肥可以提高容重和出粉率,但施氮过多,反而会引起容重和出粉率降低。

表3 施氮量和花后土壤含水量对小麦籽粒淀粉及其组分含量的影响 (%)

Table 3 Effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis soil water content on starch and its component content in wheat grain

处理 Treatment		总淀粉 Starch (%)	直链淀粉 Amylose (%)	支链淀粉 Amylopectin (%)	支/直比 Amylopectin to Amylose ratio
施氮量 Nitrogen fertilizer rate (kg/hm^2)	含水量 Soil water content (%)				
150	40 ~ 50	62.6g	20.8	41.8	2.01
	60 ~ 70	66.1c	21.4	44.7	2.09
	80 ~ 90	64.0e	21.1	42.9	2.04
225	40 ~ 50	64.1e	21.0	43.0	2.04
	60 ~ 70	67.5a	21.7	45.8	2.12
	80 ~ 90	66.1c	21.4	44.8	2.09
300	40 ~ 50	63.3f	21.0	42.3	2.02
	60 ~ 70	66.8b	21.5	45.3	2.11
	80 ~ 90	64.5d	21.1	43.3	2.05

不同字母表示在 5% 水平上差异显著 Different letters denote significant differences at 5% level

表4 施氮量和花后土壤含水量对小麦籽粒容重、出粉率、湿面筋含量、沉降值的影响

Table 4 Effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis soil water content on grain test weight, flour extraction, content of wet gluten and zeleny sedimentility of wheat

处理 Treatment		容重 Grain test weight (g/L)	出粉率 Flour extraction (%)	湿面筋 Flour wet gluten (%)	沉降值 Zeleny sedimentility (ml)
施氮量 Nitrogen fertilizer rate (kg/hm^2)	含水量 Soil water content (%)				
150	40 ~ 50	753.0g	46.6	35.8	36.0 ± 2.0
	60 ~ 70	802.5b	52.7	33.8	33.0 ± 1.6
	80 ~ 90	785.8e	47.9	27.5	24.5 ± 1.2
225	40 ~ 50	764.0f	47.0	37.6	42.0 ± 3.1
	60 ~ 70	805.4a	53.7	36.0	35.0 ± 1.9
	80 ~ 90	789.0d	50.4	29.5	25.0 ± 1.5
300	40 ~ 50	734.4h	46.4	38.4	44.0 ± 3.0
	60 ~ 70	802.0c	51.7	36.9	37.5 ± 2.2
	80 ~ 90	785.5e	47.4	35.8	28.5 ± 2.1

不同字母表示在 5% 水平上差异显著 Different letters denote significant differences at 5% level

此外,同一施氮量下,湿面筋含量和沉降值随着土壤相对含水量的增加而降低,表明花后土壤相对含水量过高会导致湿面筋含量和沉降值降低;而同一土壤相对含水量下,湿面筋含量和沉降值则随着施氮量的增加而升高,表明增施氮肥可以提高小麦粉的湿面筋含量和沉降值。

2.2.4 对拉伸仪指标的影响

延伸度是面团粘性和横向延展性优劣的标志。表5结果表明,同一施氮量条件下,延伸度表现为随着土壤相对含水量降低而减小,面团延展性变劣;而同一土壤相对含水量下,表现为随着施氮量的增加而减小,表明增施氮肥和减少土壤相对含水量可减小延伸度。

拉伸阻力是面团纵向弹性优劣的标志,即面团横向延伸时的阻抗性。由表5可以得知,同一施氮量下,拉伸阻力和最大拉伸阻力表现为随着土壤相对含水量增加而减小,表明提高花后土壤相对含水量降低了面团弹性;而同一土壤相对含水量下,表现为随着施氮量的增加而增加,表明增施氮肥可提高面团弹性。

拉伸面积代表面团的强度。由表5见,同一施氮量下,拉伸面积表现为随着土壤相对含水量增加而减小;相同土壤相对含水量下,拉伸面积则表现为随着施氮量的增加而增加。表明增加施氮量及降低花后土壤相对含水量会提高面团的强度。

表 5 施氮量和花后土壤含水量对小麦籽粒面粉拉伸指标的影响

Table 5 Effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis soil water content on extensograph index of wheat grain flour

处理 Treatment		拉伸面积 Extension area (cm ²)	延伸度 Extensibility (mm)	拉伸阻力 Extension resistance (EU)	最大拉伸阻力 Max extension resistance(EU)	拉伸比 Draw ratio
施氮量 Nitrogen fertilizer rate(kg/hm ²)	含水量 Soil water content (%)					
150	40~50	162	160	430	701	2.69
	60~70	132	168	351	611	2.09
	80~90	120	181	308	527	1.70
225	40~50	180	151	460	867	3.05
	60~70	159	165	410	719	2.48
	80~90	147	172	361	641	2.10
300	40~50	206	131	494	872	3.77
	60~70	188	144	436	807	3.03
	80~90	160	163	393	748	2.41

拉伸比表示抗拉伸强度,比值小则面团阻力小、延展性大、弹性小、流动性大。由表 5 可以看出,同一施氮量下,拉伸比表现为随着土壤相对含水量增加而减小;同一土壤相对含水量下,表现为随着施氮量的增加而增加。表明增加施氮量和降低花后土壤相对含水量会增大面团弹性、减小面团延展性。

2.2.5 对吹泡仪指标的影响

P 值是面泡形变的最大压力,反映面团形变阻力,即其韧性。 P 值越大表示面粉的韧性越好。从表 6 可以看出,同一施氮量下, P 值随着花后土壤相对含水量的增加而减小,表明高的花后土壤相对含水量降低了面团弹性;而在同一土壤相对含水量下, P 值随着施氮量的增加而提高,表明增加施氮量可以提高面团弹性。

L 值表示面泡膨胀破裂最大的距离, G 值是充气系数,两者均反映了面团延伸性。由表 6 可知,在同一施氮量下, L 值和 G 值随着花后土壤相对含水量的增加而增大,表明提高花后土壤相对含水量可以提高面团延展性;在同一土壤相对含水量下, L 值和 G 值随着施氮量的增加而降低,表明增加施氮量可以降低面团延展性。

表 6 施氮量和花后土壤含水量对小麦籽粒面粉吹泡仪指标的影响

Table 6 Effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis soil water content on alveograph index of wheat grain flour

处理 Treatment		弹性 P Tenacity (mmH ₂ O)	延展性 L Extensibility (mm)	充气系数 G Swelling (mL)	强度 W Strength (cm ²)	P/L	弹性指数 I_e Index of elastic (%)
施氮量 Nitrogen fertilizer rate(kg/hm ²)	含水量 Soil water content (%)						
150	40~50	56.0	128.0	27.6	103.0	0.44	66.6
	60~70	49.0	144.0	27.8	82.0	0.34	59.6
	80~90	44.0	156.0	28.0	71.0	0.28	58.1
225	40~50	59.0	109.0	23.2	105.0	0.54	67.7
	60~70	55.0	129.0	26.2	97.0	0.43	61.2
	80~90	46.0	147.0	27.0	77.0	0.31	59.3
300	40~50	61.0	98.0	20.9	113.0	0.62	69.1
	60~70	58.0	110.0	23.1	101.0	0.53	62.3
	80~90	50.0	128.0	26.3	87.0	0.39	60.0

P/L 值是吹泡曲线的配置比,反映吹泡曲线的构形。在 P 、 L 值都较大的情况下, P/L 越大,面团筋性越好。由表 6 可知,同一施氮量下, P/L 值随着花后土壤相对含水量的增加而减小,表明干旱胁迫下小麦面团弹性较好;而同一土壤相对含水量下, P/L 值随着施氮量的增加而提高,表明增加施氮量可以提高面团弹性。

W 值是面团形变直至破裂所做的功,反映吹泡曲线所包围的面积,与烘焙力相关。从表 6 可以看出,同一施氮量下, W 值表现为随着花后土壤相对含水量的增加而减小;同一土壤相对含水量下,呈现出随着施氮量的增加而提高,表明增加施氮量和降低花后土壤相对含水量会增大面团的烘焙力。

I_e 值(弹性指数)反映面泡的弹性阻力。同一施氮量下,弹性指数表现为随着花后土壤相对含水量的增

加而减小,表明降低花后土壤相对含水量可以提高面团弹性;同一土壤相对含水量下,弹性指数表现为随着施氮量的增加而提高,表明增施氮肥可提高面团弹性(表6)。

2.2.6 对稠度仪指标的影响

表7结果显示,同一施氮量下,吸水率、面团形成时间和稳定时间表现为随着土壤相对含水量的增高而减小;同一土壤相对含水量下,吸水率、面团形成时间和稳定时间表现为随着施氮量的增加而提高。结果表明了增施氮肥和降低花后土壤相对含水量可提高小麦粉吸水率和延长面团形成时间与稳定时间,改善面粉品质。

表7 施氮量和花后土壤含水量对小麦籽粒面粉稠度仪指标的影响

Table 7 Effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis soil water content on consistograph index of wheat grain flour

处理 Treatment		面粉吸水率 water absorption rate of flour(%)	面团形成时间 Dough development time (s)	面团稳定时间 Dough stability time (s)
施氮量 Nitrogen fertilizer rate (kg/hm ²)	含水量 Soil water content (%)			
150	40~50	50.8	87	173
	60~70	48.8	81	161
	80~90	47.0	45	142
225	40~50	51.6	98	180
	60~70	49.9	86	169
	80~90	49.2	78	148
300	40~50	52.1	105	191
	60~70	51.2	92	172
	80~90	50.8	85	159

2.2.7 对粘度仪指标的影响

由表8可以获知,同一施氮量下,峰值粘度、低谷粘度、最终粘度和衰减值为60%~70%处理的最高,80%~90%处理居中,40%~50%处理最低。而在同一土壤相对含水量下,其高低顺序为225kg/hm²处理>300kg/hm²处理>150kg/hm²处理。

表8 施氮量和花后土壤含水量对小麦籽粒面粉粘度仪参数的影响

Table 8 Effects of nitrogen fertilizer rate and post-anthesis soil water content on RVA index of wheat grain flour

处理 Treatment		峰值粘度 Peak viscosity (cp)	低谷粘度 Through viscosity (cp)	衰减值 Break down (cp)	最终粘度 Final viscosity (cp)	糊化温度 Pasting temperature (℃)
施氮量 Nitrogen fertilizer rate(kg/hm ²)	含水量 Soil water content (%)					
150	40~50	2272	1784	488	3278	88.0
	60~70	2507	1803	704	3356	85.6
	80~90	2449	1786	663	3125	87.2
225	40~50	2443	1823	620	3363	88.1
	60~70	2709	1963	746	3575	87.3
	80~90	2561	1849	712	3327	87.4
300	40~50	2366	1796	570	3318	87.4
	60~70	2586	1860	726	3441	86.6
	80~90	2467	1780	687	3257	87.0

同时,同一施氮量下,糊化温度表现为40%~50%处理的最高,其次为80%~90%处理居中,最低则为60%~70%处理,最大差异为2.4℃;在同一土壤相对含水量下,其值由高到低则为225kg/hm²、150kg/hm²、300kg/hm²处理,但处理间差异不十分显著($P < 0.05$)。

上述结果表明,适量增施氮肥或适宜的花后土壤相对含水量可提高淀粉的峰值粘度、最终粘度和衰减值,改善淀粉品质。

3 讨论与结论

3.1 施氮量和花后土壤含水量对小麦产量及其构成因素的影响

范学梅等^[12]研究表明,小麦花后渍水或干旱显著降低千粒重、穗粒数和籽粒产量,在适宜水分和干旱条

件下,增施氮肥增加了籽粒产量,而在渍水条件下,增施氮肥降低了产量。本试验结果表明,不同氮肥水平下,花后小麦土壤水分过多(80%~90%)或不足(40%~50%)均会导致穗粒数减少,千粒重降低,产量较低;此外,在3个土壤相对含水量下,表现为适量增施氮肥具有较为明显的增产效应,水肥互作表现出正效应,但过多(300 kg/hm²)或过少(150 kg/hm²)施氮均不利于穗粒数和千粒重的提高,最终减产,水肥互作表现为负效应。

3.2 施氮量和花后土壤含水量对小麦籽粒蛋白质及其组分含量的影响

小麦品质不仅取决于籽粒中的蛋白质含量,更重要的是蛋白质质量,即蛋白质各组分类型、含量及比例,成为改善小麦加工品质的重要措施^[14]。土壤水分亏缺也影响籽粒蛋白质的积累和品质的改善^[15]。范学梅等^[12]研究表明,干旱使籽粒蛋白质含量提高,渍水使籽粒蛋白质含量下降,渍水不利于醇溶蛋白的积累,土壤干旱有利于谷蛋白的积累。本研究发现,同一土壤相对含水量下,总蛋白质、醇溶蛋白、麦谷蛋白含量及谷/醇比随着施氮量的增加而增加,实验结果说明了花后在相同的水分条件下,适量的增施氮肥有利于籽粒蛋白质的积累及组分比例的改善。而在同一施氮量条件下,总蛋白质及各组分均随着土壤相对含水量的增加而降低,同时谷/醇比也降低,同样说明了花后土壤相对含水量过高或过低均不利于籽粒蛋白质及各组分含量的提高。可以得出,花后适宜的水分条件下,适当地增施氮肥有利于提高小麦籽粒蛋白质含量,同时改善了蛋白质各组分所占的比例。

3.3 施氮量和花后土壤含水量对小麦籽粒淀粉及其组分含量的影响

淀粉是小麦籽粒的重要组成部分,其含量与支链/直链淀粉比值决定了面条、馒头的制品品质。范学梅等^[12]研究表明,干旱和渍水条件下,增施氮肥可以提高小麦籽粒支链淀粉含量,降低直链淀粉含量,从而提高支链/直链淀粉比值,改善小麦的加工品质。本试验结果表明,在同一施氮量下,花后适宜的土壤相对含水量(60%~70%)有利于小麦籽粒中总淀粉、直链淀粉和支链淀粉含量提高及支/直比例的改善;相反,同一土壤含水量下,过高(300 kg/hm²)或过低(150 kg/hm²)施用氮肥均不利于淀粉与其组分含量的提高及比例的改善。可见,花后土壤含水量和施氮量过高或过低均不利于支/直比的提高及含量的积累,这也说明了花后水肥组合对小麦籽粒淀粉的含量及组成具有明显的交互作用。此外,在适宜的土壤水分条件下,适当增施氮肥可以提高容重和出粉率,但施氮过多,反而会引起容重和出粉率降低。

3.4 施氮量和花后土壤含水量对小麦加工品质的影响

赵广才等^[16,17]和王晓英等^[19]研究认为湿面筋含量、沉降值及面包烘烤品质性状等均受肥水措施的显著影响,增加灌水会降低小麦籽粒品质,对烘烤品质有一定的稀释效应,但这种稀释效应可以通过增加施肥得到缓冲。范学梅等^[12]研究表明,在干旱或渍水条件下,增施氮肥均可提高小麦湿面筋含量和沉降值,认为氮肥可在一定程度上调控干旱或渍水逆境下小麦籽粒的加工品质。本试验结果表明,同一施氮量下,土壤含水量的增加对烘烤品质表现出一定的稀释作用,即与湿面筋含量和沉降值呈负相关关系,这与前人的研究结果一致;而在相同土壤水分条件下,施氮量在一定范围内与湿面筋含量和沉降值之间呈正相关关系,表现出增施氮肥有助于改善其烘烤品质。同时,花后水肥互作效应对小麦籽粒面粉的拉伸仪指标(拉伸面积、拉伸比、拉伸阻力和最大拉伸阻力)和吹泡仪指标(*P*值、*P/L*值、*W*值、*Ie*值)的影响表现与小麦湿面筋和沉降值变化方面具有一定的相似性。此外,通过分析花后水肥互作效应对其它加工品质(如稠度仪指标和粘度仪指标)的影响来看,不合理的施用氮肥或水分管理可能是导致小麦加工品质劣变的重要因素之一。这说明了花后良好的水肥管理有利于改善小麦籽粒淀粉品质,提高其面团的加工性能。

因此,在生产过程中,采用合理的水肥措施,必须注重水氮互作效应对小麦籽粒品质形成方面的重要影响,既可保证高产又可兼顾优质。总之,在小麦生产实践中,通过适当施用氮肥和精确地控制花后土壤水分含量等技术,实施有目的地调控小麦品质和产量的形成,最终可以实现优质高产,但关于水氮最佳组合对花后小麦籽粒品质和产量形成的生理生态调控机制还有待进一步探讨。

References:

- [1] Ji S Q, Zhao S Z, Lu F R, *et al.* The effect of combining use of water and nitrogen on yield and quality of high-gluten wheat and their relation analysis. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2003, 19(1): 36–38, 47.
- [2] Zhou J B, Li C W. Effects of nitrogen fertilizer on protein content in different wheat varieties. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 1991, (6): 22–23.
- [3] Ge X, Dai Q G, Zhang H C, *et al.* Effect of nitrogen application methods on grain yield and quality of strong gluten wheat Jinan 17. *Acta Tritical Crops*, 2003, 23(4): 104–108.
- [4] Wang Y F, Chen J H, Qu J L, *et al.* Effects of soil water on grain yield and quality in winter wheat. *Journal of Laiyang Agricultural College*, 2002, 19(1): 7–9.
- [5] Cao H X, Wang S J, Dai X H. Effects of soil basic fertility and fertilizer and water on yield and quality and nitrogen content and nitrate reductase in leaf in spring wheat. *Acta Tritical Crops*, 2003, 23(2): 52–56.
- [6] Fu X L, Wang C Y, Guo T C, *et al.* Effects of interaction of irrigation times and nitrogen application rates on sucrose content and starch accumulation in both flag leaves and grains of weak-gluten wheat. *Acta Tritical Crops*, 2005, 25(4): 67–71.
- [7] Yu Z W, Yue S S, Shen C G, *et al.* Effect on senescence of flag leaf in winter wheat under high yield-low norm irrigation conditions. *Acta Agronomica Sinica*, 1995, 21(4): 503–508.
- [8] Jie X L, Han Y L, Tan J F, *et al.* Studies on interactive effect and coupling model of irrigation and N application in different fertility wheat fields. *Acta Agronomica Sinica*, 1998, 24(6): 963–970.
- [9] Jin K, Wang D S, Cai D X, *et al.* Response and interaction for water and fertilizer II. the effect of different compositions of N P, water on the yield of winter wheat. *Plant Nutrition and Fertilizer science*, 1999, 5(1): 8–13.
- [10] Fan X M, Jiang D, Dai T B, *et al.* Effects of nitrogen supply on flag leaf photosynthesis and grain starch accumulation of wheat from its anthesis to maturity under drought or waterlogging. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(10): 1883–1888.
- [11] Fan X M, Jiang D, Dai T B, *et al.* Effects of nitrogen rates on activities of key regulatory enzymes for grain starch and protein accumulation in wheat grown under drought and waterlogging from anthesis to maturity. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(6): 1132–1141.
- [12] Fan X M, Jiang D, Dai T B, *et al.* Effects of nitrogen on grain yield and quality in wheat grown under drought or waterlogging stress from anthesis to maturity. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(1): 71–77.
- [13] Zhang Q C, Shao L G, Wang Y, *et al.* Analysis and evaluation of spring wheat quality with alveograph NG consistograph. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2006, (5): 74–77.
- [14] Wang Y F, Yu Z W, Li S X, *et al.* Effects of nitrogen application amount on content of protein components and processing quality of wheat grain. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(9): 1071–1078.
- [15] Akiko S, Miwako K, Shingo N, *et al.* The effect of timing of nitrogen dressing on the baking quality of winter wheat. *Japanese Journal of Crop Science*, 1999, 68: 217–223.
- [16] Zhao G C, Wan S F, Liu L H, *et al.* Effects of nitrogen levels and experimental sites on processing quality characteristics and stability in strong gluten wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(10): 1498–1502.
- [17] Zhao G C, He Z H, Liu L H, *et al.* Study on the co-enhancing regulating effect of fertilization and watering on the main quality and yield in zhongyou9507 high gluten wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(3): 351–356.
- [18] He Z F. *Cereals and Oils Quality and Their Analyzing Technique*. Beijing: China Agriculture Press, 1985.
- [19] Wang X Y, He M R, Li F, *et al.* Coupling effects of irrigation and nitrogen fertilizer on grain protein and starch quality of strong-gluten winter wheat. *Plant Nutrition and Fertilizer science*, 2007, 13(3): 361–367.

参考文献:

- [1] 季书勤, 赵淑章, 吕风荣, 等. 水氮配合对强筋小麦产量和品质的影响及其相关性分析. *中国农学通报*, 2003, 19(1): 36–38, 47.
- [2] 周建斌, 李昌纬. 氮肥对不同小麦品种蛋白质含量的影响. *陕西农业科学*, 1991, (6): 22–23.
- [3] 葛鑫, 戴其根, 张洪程, 等. 施氮方式对强筋小麦济南 17 产量和品质的影响. *麦类作物学报*, 2003, 23(4): 104–108.
- [4] 王月福, 陈建华, 曲健磊, 等. 土壤水分对小麦籽粒品质和产量的影响. *莱阳农学院学报*, 2002, 19(1): 7–9.
- [5] 曹宏鑫, 王世敬, 戴晓华. 土壤基础肥力和肥水运筹对春小麦产量和品质及植株氮素代谢状况的影响. *麦类作物学报*, 2003, 23(2): 52–56.
- [6] 付雪丽, 王晨阳, 郭天财, 等. 水氮交互对弱筋小麦蔗糖含量和籽粒淀粉积累及品质的影响. *麦类作物学报*, 2005, 25(4): 67–71.
- [7] 于振文, 岳寿松, 沈成国, 等. 高产低定额灌溉对冬小麦旗叶衰老的影响. *作物学报*, 1995, 21(4): 503–508.
- [8] 介晓磊, 韩燕来, 谭金芳, 等. 不同肥力麦田水氮交互效应与耦合模式研究. *作物学报*, 1998, 24(6): 963–970.
- [9] 金轲, 汪德水, 蔡典雄, 等. 水肥耦合效应研究 II. 不同 N、P、水配合对旱地冬小麦产量的影响. *植物营养与肥料报*, 1999, 5(1): 8–13.
- [10] 范雪梅, 姜东, 戴廷波, 等. 花后干旱或渍水下氮素供应对小麦光合和籽粒淀粉积累的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(10): 1883–1888.
- [11] 范雪梅, 姜东, 戴廷波, 等. 花后干旱和渍水下氮素供应对小麦籽粒蛋白质和淀粉积累关键调控酶活性的影响. *中国农业科学*, 2005, 38(6): 1132–1141.
- [12] 范雪梅, 姜东, 戴廷波, 等. 花后干旱或渍水逆境下氮素对小麦籽粒产量和品质的影响. *植物生态学报*, 2006, 30(1): 71–77.
- [13] 张起昌, 邵立刚, 王岩, 等. 利用吹泡稠度仪对春小麦种质主要品质性状的分析与评价. *黑龙江农业科学*, 2006, (5): 74–77.
- [14] 王月福, 于振文, 李尚霞, 等. 施氮量对小麦籽粒蛋白质组分含量及加工品质的影响. *中国农业科学*, 2002, 35(9): 1071–1078.
- [15] 赵广才, 万富世, 常旭虹, 等. 不同试点氮肥水平对强筋小麦加工品质性状及其稳定性的影响. *作物学报*, 2006, 32(10): 1498–1502.
- [16] 赵广才, 何中虎, 刘利华, 等. 肥水调控对强筋小麦中优 9507 品质与产量协同提高的研究. *中国农业科学*, 2004, 37(3): 351–356.
- [17] 何照范. *粮油籽粒品质及其分析技术*. 北京: 中国农业出版社, 1985.
- [18] 王晓英, 贺明荣, 李飞, 等. 水氮耦合对强筋小麦籽粒蛋白质和淀粉品质的影响. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(3): 361–367.