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

范雪梅 姜 东 戴廷波 荆 奇 曹卫星*

(南京农业大学农业部作物生长调控重点开放实验室, 南京 210095)

摘 要 盆栽试验条件下, 设置渍水、干旱和对照 3 个水分处理, 每个水分处理下设置两个施氮水平, 研究了花后渍水或干旱逆境下氮素营养对两个不同类型小麦 (*Triticum aestivum*) 品种籽粒产量和品质性状的影响。结果表明, 与对照相比, 花后渍水或干旱处理显著降低了小麦的千粒重、穗粒数和籽粒产量。在适宜水分和干旱条件下, 增施氮肥增加了小麦籽粒产量, 而在渍水条件下, 增施氮肥降低了产量。干旱处理提高了蛋白质含量、干、湿面筋含量、沉降值和降落值; 而渍水处理则降低了小麦籽粒蛋白质含量和干、湿面筋含量。同一水分处理下, 增施氮肥提高了蛋白质含量, 谷蛋白/醇溶蛋白比, 支链淀粉含量和支/直链淀粉比。在小麦籽粒主要品质性状上存在显著的水氮互作效应, 且水分、氮肥及水氮互作效应对小麦籽粒产量和品质的影响因品种的不同而异。

关键词 小麦 干旱 渍水 水氮互作 籽粒产量 籽粒品质

EFFECTS OF NITROGEN ON GRAIN YIELD AND QUALITY IN WHEAT GROWN UNDER DROUGHT OR WATERLOGGING STRESS FROM ANTHESIS TO MATURITY

FAN Xue-Mei JIANG Dong DAI Ting-Bo JING Qi and CAO Wei-Xing*

(Key Laboratory of Crop Growth Regulation, MOA, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract Soil water stress is a major ecological factor which limits grain quality formation in wheat. Previous studies have mainly focused on the effects of drought or waterlogging and the interactive effects of nitrogen availability and drought on grain quality, while little information is available on nitrogen supply under waterlogging conditions on grain quality. Therefore, the effects of nitrogen levels on grain yield and quality of two different wheat varieties that differ in grain protein content were compared under drought and waterlogging conditions in a pool culture experiment. Three water treatments, waterlogging, drought (45% – 50% of field capacity) and moderate water supply (corresponding to 70% – 80% of field capacity), were maintained from anthesis to maturity. Under each water treatment, two nitrogen levels, 120 and 240 kg·hm⁻², were implemented. Both drought and waterlogging significantly reduced 1 000-kernel weight, grain number per ear and grain yield in wheat, compared with moderate water supply (CK). Under CK and drought, nitrogen increased grain yield but reduced yield under waterlogging. Compared with CK, drought increased the contents of protein, dry gluten and wet gluten, SDS-sedimentation volume and falling number, while waterlogging reduced the contents of grain protein, dry and wet gluten. Under the same water treatment, nitrogen increased the protein content, ratio of glutenin to gliadin, amylopectin content and ratio of amylopectin and amylose. Significant interactions between water and nitrogen on glutelin content, amylose content and falling number in the two different wheat varieties were observed. In addition, significant interactions between water and nitrogen on kernel number per spike, contents of albumin and globulin, ratio of glutenin to gliadin, amylopectin content, ratio of amylopectin and amylose and dry gluten in ‘Xuzhou 26’ were observed, but no differences in the ‘Yangmai 9’ were found. Significant interactions on 1 000-kernel weight, total starch content and gluten index in ‘Yangmai 9’ were observed, while no differences in ‘Xuzhou 26’ were found. The effects of water and nitrogen on grain yield and quality varied with different wheat cultivars. These results established the relationship between wheat grain quality with nitrogen under drought or waterlogging conditions. The results of this study offer insights into techniques for resisting stress and regulating high quality wheat under different ecological conditions.

Key words Wheat, Drought, Waterlogging, Water and nitrogen interactions, Grain yields, Grain quality

小麦籽粒品质既受遗传控制,也受环境条件的影响(Rharrabti *et al.*, 2003; 李永庚等, 2003)。其中,土壤水分对小麦籽粒蛋白质含量具有明显的影响,通常降水量或土壤含水量与籽粒蛋白质含量呈负相关(曹广才和王绍中, 1994)。花后土壤干旱或渍水条件对小麦籽粒蛋白质含量的影响使专用小麦的籽粒品质特性发生明显的变化(姜东等, 2004; 范雪梅等, 2004; 兰涛等, 2004; Akiko *et al.*, 1999; Jenner *et al.*, 1991; 王月福等, 2002a, 2002b; 许振柱等, 2003; 常江和李金才, 1999)。由于花后干旱和渍水是我国小麦生产中经常发生的自然灾害,因此土壤水分状况就成为影响优质专用小麦生产的主要生态因子(刘玲等, 2003)。

研究发现,氮素对不同类型小麦品种的籽粒产量、营养品质和加工品质均有显著的影响(Luo *et al.*, 2000; 朱新开等, 2003),并且在土壤干旱条件下施用氮肥可调控小麦植株的生长发育,提高产量(上官周平等, 1999; 金轲等, 1999);水肥耦合还可改善小麦籽粒品质性状(王立秋等, 1997a, 1997b)。而渍水条件下,氮肥对不同类型小麦品种的籽粒产量和品质形成的影响,目前尚不清楚。为此,本实验选用两个蛋白质含量不同的小麦品种,在防雨池栽培条件下同时研究花后干旱或渍水条件下氮素供应对小麦品种籽粒产量和主要品质性状的影响,以期对不同生态条件下小麦抗逆调优栽培提供理论依据与技术支持。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于 2001 ~ 2003 年在南京农业大学卫岗试验站网室配有防雨篷的水泥池中进行。水泥池面积为 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$, 深度为 0.8 m 。土壤养分状况为有机质 $8.7\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全氮 $1.0\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 水解氮 $47.8\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效磷 $22.0\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾 $145\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。供试品种为高蛋白品种‘徐州 26’(蛋白质含量 15% 左右)和低蛋白品种‘扬麦 9 号’(蛋白质含量 11.5% 左右)。试验设 3 个水分处理: 对照(相当于田间持水量的 70% ~ 80%)、干旱(相当于田间持水量的 45% ~ 50%)和渍水(保持 1 ~ 2 cm 的水层)。每个水分处理均设置两个施氮水平处理: 纯氮 120 和 $240\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 试验为随机区组设计, 两次重复。水分处理时期为开花期至成熟期, 于开花前将美国 Wescor 公司所产 HR-33T 露点微伏压计的探头埋入池中, 用露点微伏压计测定土壤水势值, 同时结合酒精烧

土法来测定土壤含水量。从开花期开始, 根据实测的土壤含水量, 通过人工补水将对照和干旱处理的土壤水分调节至预设值, 之后每隔 5 d 测定 1 次土壤含水量, 严格控制各小区土壤含水量。氮肥按 1:1 的比例, 分别在播种前和拔节期分两次施入。除基施氮肥外, 每公顷再施厩肥 $6\ 000\text{ kg}$ 、 P_2O_5 120 kg 、 K_2O 40 kg 作为基肥。基本苗 $165 \times 10^4\text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其余管理措施同一般高产大田。

开花期选择同日开花的单茎挂牌标记, 收获期取 20 个单茎, 获取籽粒样品, 用于干物质测定。其余小麦全部收获后脱粒晒干, 贮存 1 个月后磨成面粉, 用于品质指标的测定。

1.2 测定方法

籽粒蛋白质含量用半微量凯氏定氮法测定(何照范, 1985), 全氮含量乘以 5.7 即为蛋白质含量。蛋白质组分按连续震荡提取法, 用瑞士产 BüCHI 自动定氮仪测定。籽粒淀粉含量按 GB/T15685-1995 旋光仪法测定, 直链淀粉用比色法测定。干、湿面筋含量用上海嘉定粮油仪器厂产的 JHGM 面筋烘干仪和 JJJM-54-115-II 面筋洗涤仪测定。降落值用浙江光学仪器厂所产 J LZ-II 降落值测定仪测定, 沉降值用 GB/T15685-1995 标准方法测定。

1.3 数据处理与分析方法

采用 SPSS (Statistical package for the social science) 软件对试验数据进行方差分析和显著性测验。由于两年度试验结果表现出基本一致的趋势, 表中所示资料为两年数据的平均值。

2 结果与分析

2.1 花后干旱或渍水下氮素对小麦籽粒产量及产量构成因素的影响

由表 1 可以看出, 水分主效应对两品种千粒重和籽粒产量的作用达极显著水平, 对‘扬麦 9 号’穗粒数亦有极显著的作用; 氮素主效应对‘徐州 26’籽粒千粒重有显著影响, 而对‘扬麦 9 号’穗粒数和籽粒产量均有显著的作用; 水氮互作效应对‘徐州 26’穗粒数的作用达极显著水平, 而对‘扬麦 9 号’千粒重的作用达显著水平。

在同一氮素水平下, 花后干旱和渍水均显著降低了小麦的千粒重和产量。‘徐州 26’千粒重表现为对照 > 干旱 > 渍水; ‘扬麦 9 号’表现为对照 > 渍水 > 干旱, 但氮素处理间无显著差异。渍水处理下‘徐州 26’和‘扬麦 9 号’产量分别比对照减少了 17.3% ~ 25.4% 和 7.0% ~ 13.6%, 施氮量高时降低

表 1 花后干旱或渍水条件下氮素对两个小麦品种籽粒产量及产量构成因素的影响

Table 1 Effects of nitrogen on grain yield and yield components in two wheat cultivars grown under drought or waterlogging from anthesis to maturity					
品种 Cultivar	水分处理 Water treatment	氮肥处理 Nitrogen level	千粒重 1 000-kernel weight (g)	穗粒数 Kernel number per spike	产量 Yield (g·m ⁻²)
‘徐州 26’ ‘Xuzhou 26’	对照	N240	54.3 ^{ab}	27.1 ^{bc}	557.3 ^a
	Control	N120	56.5 ^a	29.2 ^a	540.0 ^a
	渍水	N240	45.9 ^d	28.2 ^{ab}	415.9 ^{bc}
	Waterlogging	N120	47.3 ^d	26.9 ^{bc}	446.8 ^b
	干旱	N240	50.0 ^c	27.7 ^{ab}	409.7 ^{bc}
	Drought	N120	52.1 ^{bc}	25.6 ^c	392.4 ^c
F-值	水分 Water		46.94 ^{**}	2.76	55.46 ^{**}
F-value	氮肥 Nitrogen		6.24 ^{**}	0.75	0.01
	水分×氮肥 Water×nitrogen		0.12	6.25 ^{**}	1.76
‘扬麦 9 号’ ‘Yangmai 9’	对照	N240	44.9 ^a	39.8 ^a	579.4 ^a
	Control	N120	42.1 ^b	37.4 ^{ab}	541.6 ^{ab}
	渍水	N240	41.0 ^b	34.9 ^{bc}	500.5 ^b
	Waterlogging	N120	41.8 ^b	34.6 ^{bc}	503.5 ^b
	干旱	N240	37.3 ^d	38.0 ^{ab}	455.7 ^c
	Drought	N120	38.8 ^c	32.7 ^c	420.9 ^c
F-值	水分 Water		57.41 ^{**}	6.64 ^{**}	40.57 ^{**}
F-value	氮肥 Nitrogen		0.14	8.41 ^{**}	4.38 [*]
	水分×氮肥 Water×nitrogen		10.50 ^{**}	2.44	1.40

不同字母 a~d 表示在 5% 水平上的差异显著 Different letters of a~d indicate significant differences at 5% level * 和 ** 分别表示在 5% 和 1% 水平上的差异显著 * and ** indicate significant at 5% and 1% probability level, respectively

幅度增大;干旱处理分别比对照减少了 26.5% ~ 27.3% 和 21.4% ~ 22.3%,施氮量低时降低幅度大。

在同一水分处理下,对照和干旱处理两品种产量均表现为 N240 > N120,而渍水处理趋势相反,表明本试验条件下,增施氮肥可提高适宜水分和水分亏缺条件下小麦籽粒的产量,但不利于渍水下小麦产量的提高。

2.2 花后干旱或渍水下氮素对小麦籽粒蛋白质和淀粉含量及其组分的影响

2.2.1 对蛋白质及其组分含量的影响

由表 2 可以看出,同一水分处理下,两品种籽粒蛋白质含量均表现为 N240 > N120,而同一氮肥处理下表现为干旱 > 对照 > 渍水,水分处理间和氮肥处理间差异均达极显著水平。干旱下‘徐州 26’和‘扬麦 9 号’蛋白质含量比对照分别增加了 5.4% ~ 8.8% 和 5.7% ~ 16.1%,而渍水下分别降低了 3.7% ~ 6.8% 和 1.1% ~ 1.2%。

不同水分、氮肥处理对籽粒蛋白质各组分含量的影响因品种而异(表 2)。水分主效应对‘徐州 26’籽粒球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白含量及谷蛋白/醇溶蛋白比有极显著的作用,而仅对‘扬麦 9 号’醇溶蛋白和谷蛋白含量的作用达极显著水平。氮素水平对‘徐州 26’的清蛋白含量、谷蛋白含量和谷/醇比具显著至极显著的效应,但仅对‘扬麦 9 号’谷蛋白含

量有显著的作用。水氮互作效应对‘徐州 26’清蛋白、球蛋白和谷蛋白含量及谷/醇比有极显著作用,但仅对‘扬麦 9 号’谷蛋白含量有极显著的作用,表明高蛋白含量的小麦品种籽粒蛋白质组分含量更容易受氮素水平和土壤水分状况的影响。

在同一氮肥条件,渍水处理下,籽粒醇溶蛋白含量较对照和干旱处理低,表明渍水处理不利于醇溶蛋白的积累。在不同水分处理下,两个品种的谷蛋白含量表现为干旱处理较对照和渍水处理高,表明土壤干旱有利于谷蛋白的积累。

同一水分处理下两小麦品种籽粒清蛋白含量表现为 N240 > N120(‘徐州 26’的对照处理除外)。球蛋白含量在干旱处理下表现为 N120 > N240,而在对照处理下趋势相反。在同一水分处理下,谷蛋白/醇溶蛋白表现为 N240 > N120,表明增施氮肥有助于增加谷蛋白/醇溶蛋白比值。

2.2.2 对淀粉及组分含量的影响

水分主效应对两品种籽粒总淀粉和支链淀粉含量具显著作用(表 3);氮素主效应对两品种籽粒直链和支链淀粉含量有显著影响,对‘徐州 26’支/直链淀粉比亦有极显著的作用;水氮互作效应对‘徐州 26’直链淀粉和支链淀粉含量及支/直链淀粉比的作用达显著至极显著水平,而对‘扬麦 9 号’总淀粉和直链淀粉含量的作用达显著水平。

表 2 花后干旱或渍水条件下氮素对两个小麦品种籽粒蛋白质及其组分含量的影响
Table 2 Effects of nitrogen on contents of grain protein and protein components in two wheat cultivars grown under drought or waterlogging from anthesis to maturity

品种 Cultivar	水分处理 Water treatment	氮肥处理 Nitrogen level	蛋白质 Protein (%)	清蛋白 Albumin (%)	球蛋白 Globulin (%)	醇溶蛋白 Gliadin (%)	谷蛋白 Glutelin (%)	谷蛋白/ 醇溶蛋白 Glu/Gli
‘徐州 26’ ‘Xuzhou 26’	对照	N240	15.1 ^b	1.79 ^{cd}	1.13 ^a	3.54 ^a	4.81 ^c	1.36 ^{cd}
	Control	N120	14.3 ^c	2.15 ^{ab}	0.79 ^b	3.48 ^a	4.52 ^c	1.30 ^d
	渍水	N240	14.1 ^{cd}	2.35 ^a	0.81 ^b	2.61 ^d	5.35 ^b	2.05 ^a
	Waterlogging	N120	13.8 ^d	1.63 ^d	0.67 ^b	2.81 ^{cd}	4.12 ^d	1.52 ^c
	干旱	N240	15.9 ^a	2.05 ^{bc}	0.61 ^b	3.10 ^{ab}	5.77 ^a	1.86 ^b
	Drought	N120	15.6 ^a	1.85 ^{cd}	0.76 ^b	3.02 ^{bc}	5.64 ^{ab}	1.81 ^b
<i>F</i> -值 <i>F</i> -value	水分 Water		57.30 ^{**}	0.09	8.63 ^{**}	29.43 ^{**}	49.46 ^{**}	49.42 ^{**}
	氮肥 Nitrogen		10.12 ^{**}	6.72 [*]	3.85	0.18	33.56 ^{**}	13.20 ^{**}
	水分 × 氮肥 Water × nitrogen		1.25	19.45 ^{**}	6.51 ^{**}	2.28	12.77 ^{**}	18.24 ^{**}
‘扬麦 9 号’ ‘Yangmai 9’	对照	N240	12.9 ^a	1.83 ^{ab}	0.74 ^{ab}	2.65 ^b	4.49 ^b	1.71 ^{ab}
	Control	N120	11.3 ^b	1.79 ^{ab}	0.59 ^b	2.72 ^b	4.42 ^b	1.62 ^{ab}
	渍水	N240	12.7 ^a	1.65 ^b	0.67 ^{ab}	2.64 ^b	4.57 ^b	1.73 ^a
	Waterlogging	N120	11.2 ^b	1.53 ^b	0.83 ^a	2.38 ^b	3.37 ^c	1.42 ^b
	干旱	N240	13.6 ^a	2.14 ^a	0.72 ^{ab}	3.52 ^a	5.60 ^a	1.62 ^{ab}
	Drought	N120	13.2 ^a	1.75 ^{ab}	0.77 ^{ab}	3.70 ^a	5.76 ^a	1.57 ^{ab}
<i>F</i> -值 <i>F</i> -value	水分 Water		11.26 ^{**}	3.62	1.57	55.82 ^{**}	61.57 ^{**}	0.53
	氮肥 Nitrogen		18.07 ^{**}	2.94	0.15	0.01	7.98 [*]	3.96
	水分 × 氮肥 Water × nitrogen		1.80	0.95	3.63	2.06	10.48 ^{**}	1.21

a ~ d, *, **: 同表 1 See Table 1

表 3 花后干旱或渍水条件下氮素对两个小麦品种籽粒淀粉及其组分含量的影响
Table 3 Effects of nitrogen on contents of grain starch and starch components in two wheat cultivars grown under drought or waterlogging from anthesis to maturity

品种 Cultivar	水分处理 Water treatment	氮肥处理 Nitrogen level	总淀粉 Total starch content (%)	直链淀粉 Amylose content (%)	支链淀粉 Amylopectin content (%)	支/直链淀粉 Amylopectin/ Amylose
‘徐州 26’ ‘Xuzhou 26’	对照	N240	61.2 ^a	11.9 ^{cd}	49.3 ^a	4.20 ^{ab}
	Control	N120	60.7 ^{ab}	12.9 ^{bc}	47.8 ^{ab}	3.70 ^{bc}
	渍水	N240	57.8 ^b	12.9 ^{bc}	44.9 ^{bc}	3.51 ^{bc}
	Waterlogging	N120	60.3 ^{ab}	14.2 ^{ab}	46.1 ^{ab}	3.25 ^c d
	干旱	N240	58.0 ^b	10.4 ^d	47.6 ^{ab}	4.66 ^a
	Drought	N120	57.8 ^b	15.9 ^a	41.9 ^c	2.65 ^d
<i>F</i> -值 <i>F</i> -value	水分 Water		5.76 [*]	2.03	6.34 [*]	3.29
	氮肥 Nitrogen		0.68	31.12 ^{**}	4.65 [*]	26.41 ^{**}
	水分 × 氮肥 Water × nitrogen		1.61	9.90 ^{**}	4.69 [*]	9.27 ^{**}
‘扬麦 9 号’ ‘Yangmai 9’	对照	N240	61.0 ^a	14.6 ^{ab}	46.4 ^c	3.23 ^b
	Control	N120	56.8 ^b	13.4 ^{bc}	43.6 ^d	3.83 ^{ab}
	渍水	N240	62.2 ^a	11.7 ^{bc}	50.5 ^a	4.33 ^{ab}
	Waterlogging	N120	63.9 ^a	16.7 ^a	47.2 ^{bc}	3.00 ^b
	干旱	N240	62.8 ^a	10.9 ^c	51.9 ^a	5.03 ^a
	Drought	N120	62.8 ^a	13.2 ^{bc}	49.5 ^{ab}	3.86 ^{ab}
<i>F</i> -值 <i>F</i> -value	水分 Water		10.28 ^{**}	2.83	25.83 ^{**}	2.78
	氮肥 Nitrogen		1.00	6.67 [*]	18.09 ^{**}	3.39
	水分 × 氮肥 Water × nitrogen		4.33 [*]	4.93 [*]	0.16	3.22

a ~ d, *, **: 同表 1 See Table 1

除‘扬麦 9 号’对照处理外,直链淀粉在同一水分处理下均表现为 N120 > N240,而支链淀粉含量除‘徐州 26’渍水处理外,均表现为 N240 > N120,说明增施氮肥可以提高支链淀粉含量,降低直链淀粉含

量,从而使支/直链淀粉增大即支/直比有随施氮量增加而增大的趋势。

2.3 花后干旱或渍水下氮素对小麦籽粒面粉品质的影响

由表 4 可以看出,水分主效应对两品种湿面筋、干面筋、沉降值和降落值具极显著作用;氮素主效应对两品种湿面筋和降落值有显著影响,对‘扬麦 9 号’干面筋含量亦有显著的作用;水氮互作效应对‘徐州 26’干面筋和降落值的作用达显著至极显著水平,而对‘扬麦 9 号’面筋指数和降落值的作用达显著水平。

‘徐州 26’干面筋和湿面筋含量明显高于‘扬麦 9 号’;在同一氮肥处理下,两品种均表现为干旱 > 对照 > 渍水;同一水分处理下,除‘徐州 26’干旱处理外均表现为 N240 > N120,说明降低土壤水分和增

施氮肥有利于面筋的形成。‘扬麦 9 号’的面筋指数高于‘徐州 26’,这可能与品种本身的遗传性状有关。在同一氮肥处理下,两品种沉降值均表现为干旱 > 对照 > 渍水,表明干旱有利于沉降值的提高,而渍水则使沉降值降低。两品种对水分的敏感程度要大于对氮肥的敏感程度。‘扬麦 9 号’的降落值大于‘徐州 26’,且同一水分处理下,除‘徐州 26’渍水处理外,均表现为 N240 > N120 处理;在同一氮肥处理下,干旱处理降落值较对照和渍水处理高,表明干旱和增施氮肥可以提高降落值。

表 4 花后干旱或渍水条件下氮素对两个小麦品种籽粒面粉品质的影响
Table 4 Effects of nitrogen on flour quality in two wheat cultivars grown under drought or waterlogging from anthesis to maturity

品种 Cultivar	水分处理 Water treatment	氮肥处理 Nitrogen level	湿面筋 Wet gluten(%)	干面筋 Dry gluten(%)	面筋指数 Gluten index(%)	沉降值 Sedimentation volume(ml)	降落值 Falling number(s)
‘徐州 26’ ‘Xuzhou 26’	对照	N240	54.0 ^{ab}	16.9 ^a	90.2 ^a	66.1 ^b	278.9 ^b
	Control	N120	49.3 ^c	15.7 ^b	83.1 ^b	63.7 ^c	259.2 ^{bc}
	渍水	N240	52.4 ^{bc}	16.2 ^{ab}	90.2 ^a	63.6 ^c	242.3 ^c
	Waterlogging	N120	49.0 ^c	15.1 ^b	90.0 ^a	63.5 ^c	242.5 ^c
	干旱	N240	55.6 ^{ab}	17.1 ^a	91.6 ^a	67.1 ^{ab}	312.8 ^a
	Drought	N120	56.3 ^a	17.1 ^a	90.1 ^a	69.0 ^a	269.2 ^b
F-值 F-value	水分 Water		12.68 ^{**}	5.62 [*]	1.84	16.22 ^{**}	22.39 ^{**}
	氮肥 Nitrogen		7.54 [*]	2.98	2.35	0.12	12.57 ^{**}
	水分 × 氮肥 Water × nitrogen		3.10	7.08 ^{**}	1.22	3.45	4.54 [*]
‘扬麦 9 号’ ‘Yangmai 9’	对照	N240	39.0 ^b	12.1 ^b	96.4 ^{abc}	57.0 ^b	317.0 ^b
	Control	N120	37.3 ^b	12.0 ^b	95.6 ^c	56.5 ^b	312.7 ^b
	渍水	N240	38.9 ^b	12.1 ^b	96.9 ^{abc}	54.7 ^b	367.5 ^a
	Waterlogging	N120	33.9 ^b	10.7 ^c	97.2 ^{ab}	52.5 ^b	323.0 ^b
	干旱	N240	45.3 ^a	14.0 ^a	95.9 ^{bc}	66.0 ^a	363.2 ^a
	Drought	N120	39.1 ^b	12.5 ^b	97.7 ^c	66.2 ^a	357.8 ^a
F-值 F-value	水分 Water		6.50 ^{**}	14.92 ^{**}	3.35	15.84 ^{**}	15.50 ^{**}
	氮肥 Nitrogen		10.1 ^{**}	8.66 ^{**}	1.55	0.12	7.01 [*]
	水分 × 氮肥 Water × nitrogen		1.01	2.97	4.44 [*]	0.16	3.76 [*]

a ~ d, *, **: 同表 1 See Table 1

3 讨 论

3.1 氮素对花后干旱或渍水下小麦籽粒产量的影响

花后干旱和渍水均显著降低小麦的籽粒产量和淀粉产量(姜东等,2004; 兰涛等,2004),适宜的土壤水分含量既可提高产量,又可改善品质(王月福等,2002a, 2002b)。增施肥料可明显改善旱作农田冬小麦叶片水分状况、提高光合速率、延缓叶片衰老,有利于小麦后期维持一定的光合面积和作用时间,有利于籽粒灌浆和增加每穗粒数,降低土壤水分不足对产量的影响(上官周平等,1999)。本试验结果显

示,灌浆期干旱条件下,增施氮肥有利于提高小麦产量,而渍水条件下增施氮肥则会降低小麦产量,这与渍水条件下增施氮肥影响植物根系对硝态氮的吸收有关(Ashraf & Habib-ur-Rehman,1999)。

3.2 氮素对花后干旱或渍水下小麦籽粒蛋白质及其组分含量的影响

清蛋白和球蛋白含量决定了小麦籽粒营养品质,而谷蛋白和醇溶蛋白含量和比例决定了面筋面团的延展性和弹性以及加工品质(张宝军和蒋纪芸,1995)。增施氮肥可提高小麦籽粒蛋白质含量并改变蛋白质各组分所占的比例,成为改善小麦加工品质的重要手段(王月福等,2002a, 2002b)。土壤水分

亏缺亦影响籽粒蛋白质的积累和品质改善(Akiko *et al.*, 1999; Jenner *et al.*, 1991)。本试验表明,干旱处理下籽粒蛋白质含量提高,而渍水处理下籽粒蛋白质含量下降。在渍水处理下,籽粒醇溶蛋白含量较对照和干旱处理低,说明渍水不利于醇溶蛋白的积累。在不同水分处理下,两小麦品种的谷蛋白含量表现为干旱处理较高,表明土壤干旱有利于谷蛋白的积累,同时增施氮肥可以提高谷蛋白/醇溶蛋白比。水氮互作对‘徐州 26’蛋白质各组分含量和谷蛋白/醇溶蛋白比有显著的影响,但对‘扬麦 9 号’的影响不显著。这表明,氮素对花后干旱或渍水逆境下小麦的面筋特性及加工品质的调控因品种而异。由于氮素对花后干旱或渍水下籽粒蛋白质及组分影响的差异,最终明显影响了不同小麦品种的面筋特性及相应面制品的加工品质。

3.3 氮素对花后干旱或渍水下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,其含量与直链/支链淀粉比在很大程度上决定了面条、馒头等麦制品的品质(王晨阳等, 2004; 张宝军和蒋纪芸, 1995)。本试验结果表明,干旱和渍水逆境下,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/直链淀粉比值,影响了小麦的加工品质。

3.4 氮素对花后干旱或渍水下小麦面粉品质的影响

小麦籽粒蛋白质和干、湿面筋含量,沉降值及面包烘烤品质性状等均受水肥措施的显著影响(王立秋等, 1997a, 1997b; 赵广才等, 2004),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,但这种稀释效应可通过增加施肥得以缓冲(王立秋等, 1997b)。本试验结果表明,在干旱或渍水下,增施氮肥均可提高小麦干、湿面筋含量和降落值,对面筋指数和沉降值的影响因品种和水分处理而异,表明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。

因此,在生产中可通过氮肥施用技术,调控干旱或渍水条件下不同类型小麦籽粒品质的形成,以实现不同水分逆境下的小麦抗逆调优栽培。而有关氮素调控水分逆境下籽粒品质形成的生理机制还有待于进一步探讨。

参 考 文 献

Akiko S, Miwako K, Shingo N, Mitsuru W (1999). The effect of

- timing of nitrogen dressing on the baking quality of winter wheat. *Japanese Journal of Crop Science*, 68, 217 – 223.
- Ashraf M, Habib-ur-Rehman (1999). Interactive effects of nitrate and long-term waterlogging on growth, water relations, and gaseous exchange properties of maize (*Zea mays* L.). *Plant Science*, 144, 35 – 43.
- Cao GC (曹广才), Wang SZ (王绍中) (1994). *Wheat Ecology of Quality* (小麦品质生态). Chinese Science and Technology Press, Beijing, 89 – 92. (in Chinese)
- Chang J (常江), Li JC (李金才) (1999). Study on influence of waterlogging on the effectiveness of nitrate, phosphorus and potassium to wheat nutrition. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 36, 423 – 427. (in Chinese with English abstract)
- Fan XM (范雪梅), Jiang D (姜东), Dai TB (戴廷波), Jing Q (荆奇), Cao WX (曹卫星) (2004). Effect of post-anthesis drought and waterlogging on grain quality formation in different quality wheat varieties. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 28, 680 – 685. (in Chinese with English abstract)
- He ZF (何照范) (1985). *Analysis Technique for Grain Quality of Cereals and Oils* (粮油籽粒品质及其分析技术). China Agriculture Press, Beijing, 37 – 41. (in Chinese)
- Jenner CF, Ugalde TD, Aspinall D (1991). The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, 18, 211 – 226.
- Jiang D (姜东), Xie ZJ (谢祝捷), Cao WX (曹卫星), Dai TB (戴廷波), Jing Q (荆奇) (2004). Effects of post-anthesis drought and waterlogging on photosynthetic characteristics, assimilates transportation in winter wheat. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 30, 175 – 182. (in Chinese with English abstract)
- Jin K (金轲), Wang DS (汪德水), Cai DX (蔡典雄), Zhou Y (周涌) (1999). A study on the interactive effect and the model of water and fertilizer on dryland. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 32(5), 104 – 106. (in Chinese with English abstract)
- Lan T (兰涛), Jiang D (姜东), Xie ZJ (谢祝捷), Cao WX (曹卫星), Dai TB (戴廷波), Jing Q (荆奇) (2004). Effects of post-anthesis drought and waterlogging on grains quality in different specialty wheat varieties. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 18, 193 – 196. (in Chinese with English abstract)
- Li YG (李永庚), Jiang GM (蒋高明), Yang JC (杨景成) (2003). Effects of temperature on carbon and nitrogen metabolism, yield and quality of wheat. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 27, 164 – 169. (in Chinese with English abstract)
- Liu L (刘玲), Sha YZ (沙奕卓), Bai YM (白月明) (2003). Regional distribution of main agrometeorological disasters and disaster mitigation strategies in China. *Journal of Natural Disasters* (自然灾害学报), 12(2), 92 – 97. (in Chinese with English abstract)
- Luo C, Branlard G, Griffin WB, McNeil DL (2000). The effect of

- nitrogen and sulphur fertilisation and their interaction with genotype on wheat glutenins and quality parameters. *Journal of Cereal Science*, 31, 185 – 194.
- Rharabti Y, Royo C, Villegas D, Aparicio N, García del Moral LF (2003). Durum wheat quality in Mediterranean environments. I. Quality expression under different zones, latitudes and water regimes across Spain. *Field Crops Research*, 80, 123 ~ 131.
- Shangguan ZP (上官周平), Liu WZ (刘文兆), Xu XB (徐宣斌) (1999). Interactive effects of water and fertilizer on yield of winter wheat in dry land. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), 6, 103 – 106. (in Chinese with English abstract)
- Wang CY (王晨阳), Ma DY (马冬云), Zhu YJ (朱云集), Guo TC (郭天财), Feng W (冯伟), Zhou SM (周苏玫) (2004). Effects of different irrigation and nitrogen application regimes in winter wheat on cooking qualities of Chinese noodle. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 37, 256 – 262. (in Chinese with English abstract)
- Wang LQ (王立秋), Jin ZZ (靳占忠), Cao JS (曹敬山) (1997a). A study on the water and fertilizer effect on spring wheat yield and quality. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 15, 58 – 63. (in Chinese with English abstract)
- Wang LQ (王立秋), Jin ZZ (靳占忠), Cao JS (曹敬山), Wang ZY (王占宇) (1997b). Effects of water and fertilizer factors on grain quality and bread quality of wheat. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 30(3), 67 – 73. (in Chinese with English abstract)
- Wang YF (王月福), Chen JH (陈建华), Qu JL (曲健磊), Li WF (李维峰), Zhou SL (周胜来) (2002a). Effects of soil water on grain yield and quality in winter wheat. *Journal of Laiyang Agricultural College* (莱阳农学院学报), 19(1), 7 – 9. (in Chinese with English abstract)
- Wang YF (王月福), Yu ZW (于振文), Li SX (李尚霞), Yu SL (余松烈) (2002b). Effects of nitrogen application amount on content of protein components and processing quality of wheat grain. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 35, 1071 – 1078. (in Chinese with English abstract)
- Xu ZZ (许振柱), Yu ZW (于振文), Wang D (王东), Zhang YL (张永丽) (2003). Effect of irrigation conditions on protein composition accumulation of grain and its quality in winter wheat. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 29, 682 – 687. (in Chinese with English abstract)
- Zhang BJ (张宝军), Jiang JY (蒋纪芸) (1995). Analysis on grain quality and effect factors in wheat. *Agronomy Abroad—Wheat, Barley, Triticale, et al.* (国外农学——麦类作物), 4, 29 – 32. (in Chinese with English abstract)
- Zhao GC (赵广才), He ZH (何中虎), Liu LH (刘利华), Yang YS (杨玉双), Zhang Y (张艳), Li ZH (李振华), Zhang WB (张文彪) (2004). 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* (中国农业科学), 37, 351 – 356. (in Chinese with English abstract)
- Zhu XK (朱新开), Guo WS (郭文善), Zhou JL (周君良), Hu H (胡宏), Zhang Y (张影), Li CY (李春燕), Feng CN (封超年), Peng YX (彭永欣) (2003). Effects of nitrogen on grain yield, nutritional quality and processing quality of wheat for different end uses. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 36, 640 – 645. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 李凤民 责任编辑: 张丽赫