不同生态环境与播种期下小麦籽粒品质 变异规律的研究

潘洁 姜东 戴廷波 兰涛 曹卫星*

(南京农业大学江苏省信息农业高技术研究重点实验室, 南京 210095)

摘要 选用 6 个不同品质类型小麦品种在 4 个生态点进行分期播种试验, 系统分析了不同生态环境下小麦籽粒产量与品质的变异特征及其与主要气候生态因子间的关系。结果表明: 生态点、品种以及地点 $\times$ 品种互作对籽粒产量、千粒重、蛋白质、湿面筋和淀粉含量、沉降值与降落值的影响均达到显著水平; 不同播种期处理对产量与淀粉含量的影响达到极显著水平, 而播种期 $\times$ 品种互作对千粒重、降落值、淀粉含量及沉降值的效应达到显著水平; 地点 $\times$ 播种期 $\times$ 品种互作仅对产量、湿面筋、淀粉含量与沉降值有显著的影响。在 4 个不同生态点中, 南京点的籽粒蛋白质与湿面筋含量最低, 但淀粉含量最高; 徐州点的产量和千粒重最大; 泰安点的蛋白质含量与湿面筋含量最高, 沉降值最小; 保定点的产量、千粒重最小, 但沉降值最大。不同播种期处理下, 适播与晚播的籽粒蛋白质含量、湿面筋含量、淀粉含量、沉降值与降落值都显著高于早播, 而早播期的产量和千粒重最大。各小麦品种在不同地点与播种期下产量与品质性状的变异中以降落值的变异系数为最大, 淀粉的变异为最小。开花至成熟期的日均温与淀粉含量呈线性负相关, 与产量、蛋白质和湿面筋含量及降落值呈二次曲线相关关系; 日温差与产量和千粒重呈二次曲线相关关系, 籽粒蛋白质和湿面筋含量、沉降值及降落值则随昼夜温差的增加线性递增; 开花至成熟期降雨量与产量、千粒重都呈现先升后降的二次曲线相关关系, 而与籽粒蛋白质含量和降落值呈现线性负相关关系; 籽粒蛋白质和湿面筋含量与降落值随开花至成熟期的累计日照时数呈现线性正相关关系。

关键词 小麦 生态环境 播种期 产量 品质性状 变异

VARIATION IN WHEAT GRAIN QUALITY GROWN UNDER DIFFERENT CLIMATIC CONDITIONS WITH DIFFERENT SOWING DATES

PAN Jie JIANG Dong DAI Ting-Bo LAN Tao and CAO Wei-Xing*

(Hi-Tech Key Laboratory of Information Agriculture, Jiangsu Province, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract Grain quality of wheat is influenced by variation in genotypes, environmental factors, management practices and their interactions. Six wheat genotypes differing in grain quality were planted at four different regional sites with different sowing dates to study the variation of yield and quality traits under different climatic conditions during grain filling. The results showed that ecological condition (E), variety (V) and their interactions ($E \times V$) had significant impacts on grain yield, thousand kernel weight (TKW), grain protein content, wet gluten and starch content, sedimentation volume, and falling number. At the four experimental sites, sowing date (S) had a highly significant effect on yield and starch content in spite of environmental conditions. The interaction of $V \times S$ significantly affected TKW, falling number, starch content and sedimentation volume, and the interaction of $E \times V \times S$ also was significant on yield, contents of wet gluten and starch and sedimentation volume. The lowest protein and wet gluten content and the highest starch content were found at the Nanjing site, the highest yield and TKW were at the Xuzhou site, the highest protein and wet gluten content and lowest sedimentation value were in Tai'an, and the lowest yield and TKW and highest sedimentation value were in Baoding. The protein, wet gluten and starch content, sedimentation value, and falling number under optimal and late sowing dates were all higher than those under early sowing dates, which produced the highest yield and TKW. For the six different genotypes, the CV of falling number was the largest and that of starch content was the smallest under different eco-sites and sowing dates. Starch content was negatively linearly correlated with mean temperature from anthesis to maturity, whereas grain yield, grain protein and wet gluten content and falling number showed a quadratic correlation. Yield and TKW showed a quadratic correlation, while

收稿日期: 2004-04-13 接受日期: 2004-10-20

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(30030090)、国家 863 计划(2003AA209030)和江苏省高技术项目(BG2004320)

* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: caow@njau.edu.cn

protein and wet gluten content, falling number and sedimentation volume were linearly correlated to diurnal temperature differences. Grain yield and *TKW* showed upward quadratic equations, while grain protein content and falling number showed negative linear relationships with the total rainfall after anthesis. Also, the grain protein and wet gluten content and falling number were linearly correlated to the total number of sunshine from anthesis to maturity.

Key words Wheat, Eco-environment, Sowing date, Grain yield, Grain quality, Variation

小麦籽粒品质同时受到基因型、环境、栽培措施及其互作效应的影响(Motzo *et al.*, 1996; 吴东兵等, 2003; 荆奇等, 2003; Rharrabti & Royo, 2003)。不同纬度生态环境下籽粒蛋白质含量的差异大于品种间的差异(Daniel & Triboy, 2002; 郭天财等, 2003), 而不同品种间蛋白质与湿面筋含量的差异大于播种期间的差异(王绍中和章练红, 1994; Tribio & Abad, 2000)。小麦淀粉含量与沉降值在品种间差异显著, 而对生态环境反应不敏感(张艳等, 1999; 荆奇等, 2003), 虽然淀粉含量在播种期间可能差异显著(郭天财等, 2001)。蔡大同等(1994)研究表明, 不同播种期条件下, 籽粒蛋白质与面筋含量发生显著变异, 早播与晚播都降低籽粒蛋白质含量与面筋含量。已有的这些研究表明, 不同生态环境及播种期显著影响不同基因型小麦的主要籽粒品质指标。但现有的试验研究具有明显的地域特征或较少的因子组合, 有关不同纬度、播种期与品种间互作对小麦籽粒品质的综合影响及其与气候生态因子的关系尚缺乏系统的研究。为此, 本研究选用籽粒蛋白质含量高、中、低的小麦品种各 2 个, 在 4 个不同的生态点设置不同播种期的种植试验, 以创造广泛变异的温光环境, 深入研究不同生态环境下不同类型小麦籽粒品质性状的变化规律及其与灌浆期气候因子的动态关系, 旨在为专用小麦品质生态区划和调优栽培提供理论依据和技术途径。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于 2001 ~ 2002 年分别在江苏南京(118.7°E, 32.0°N)、江苏徐州(117.1°E, 34.3°N)、山东泰安(117.2°E, 36.2°N)、河北保定(115.4°E, 38.8°N)4 个生态点进行, 涉及我国北方、黄淮河和长江中下游 3 大麦区。南京与徐州试验点设置早、适、晚播 3 个播种期处理, 泰安和保定点设适播与晚播两个播种期处理。以各生态点的适播期分别提前或推迟 15 d 来确定早播与晚播期。各试验点的土壤类型、土壤肥力与适播期见表 1。供试品种选用生产上大面积推广的 6 个小麦品种, 包括高蛋白品种‘徐州 26’

(半冬性)和‘豫麦 34’(弱春性), 中蛋白品种‘皖麦 38’(半冬性)和‘扬麦 10 号’(春性), 低蛋白品种‘徐州 25’(半冬性)和‘宁麦 9 号’(春性)。由于‘扬麦 10 号’和‘宁麦 9 号’两春性品种在河北保定试验点不能安全越冬, 保定点仅选用了‘徐州 26’、‘豫麦 34’、‘皖麦 38’和‘徐州 25’4 个品种。各试验点施肥水平保持一致, 施氮量为 240 kg•hm⁻², 基肥和拔节期追肥各占 50%, P₂O₅ 8 kg•hm⁻²、K₂O 8 kg•hm⁻²均用作基肥。小区面积均为 15 m², 随机区组排列, 3 次重复, 田间管理按一般高产麦田进行。成熟期每小区收取 1 m² 测产, 种子经 1 个月的生理后熟后进行品质测定。各试验点小麦开花期至成熟期逐日日均温、日温差、日降雨量与日照时数等气象数据由当地气象站提供。

1.2 品质测定与数据分析

籽粒蛋白质和淀粉含量、沉降值、降落值等品质性状的测定参照 AACC 和国标法测定。粗蛋白含量采用国家标准半微量凯氏定氮法(GB 290182)测定; 湿面筋含量用瑞典 Falling Number 公司 2011 型面筋仪, 按照 AACC38-32 方法测定; 沉降值按 GB/T 14607-93 法测定; 降落值用 J1Z-II 型降落值仪, 按 GB 10361-89 谷物降落值测定法测定。

对各生态点不同播种期下各品种的产量和品质性状数据, 采用 SPSS(Statistical package for the social science)统计分析系统进行相关分析与方差分析。首先, 对实验数据进行 3 因素随机区组试验结果的方差分析(3-way ANOVA)。其次, 所得实验数据分别在生态点间、品种间与播种期间求取平均值, 并分别进行差异显著性测验。为了保证等同条件下的差异分析, 不同生态点产量与品质性状平均值是对各生态点所共有的 4 个品种(‘徐州 26’、‘豫麦 34’、‘皖麦 38’和‘徐州 25’)在适播与晚播条件下的实验数据进行平均, 品种间的平均值是对各品种在 3 个生态点(保定因缺少‘扬麦 10 号’和‘宁麦 9 号’而未选用)适播和晚播处理的实验数据进行平均, 播种期间各性状的平均值则是对南京和徐州两地 6 个小麦品种的产量与品质性状数据进行平均。最后, 将不同生态点不同播种期下所得不同品种的产量和品质

表 1 各试验点土壤类型、土壤肥力与适播期
Table 1 Soil type, soil fertility and optimal sowing date at different sites

地点 Site	土壤类型 Soil type	土壤有机质 Organic matter (g•kg ⁻¹)	全 N Total N (g•kg ⁻¹)	水解 N Hydrolyzed N (mg•kg ⁻¹)	速效 P P ₂ O ₅ (mg•kg ⁻¹)	速效 K K ₂ O (mg•kg ⁻¹)	适播期 Optimal sowing date
南京 Nanjing	壤土 Loam	12.92	1.28	101.5	54.8	65.3	Nov.6
徐州 Xuzhou	沙壤土 Loamy sand	14.58	1.29	99.2	56.1	87.5	Oct.15
泰安 Tai'an	沙壤土 Loamy sand	12.80	1.06	102.6	64.0	50.2	Oct.10
保定 Baoding	壤土 Loam	10.21	0.91	86.3	56.5	90.0	Oct.1

表 2 6 个小麦品种在 4 个生态点不同播种期下产量与主要品质性状方差分析 *F* 值
Table 2 *F* values of yield and quality traits for 6 different wheat varieties grown with different sowing dates under 4 different eco-sites

变异因子 Source of variation	产量 Yield (kg•hm ⁻²)	千粒重(g) Thousand kernels weight	蛋白质 Protein (%)	湿面筋 Wet gluten (%)	沉降值 Sedimentation volume (ml)	淀粉 Starch (%)	降落值 Falling number (s)
生态点 Eco-site (E)	268.20**	42.37**	22.27**	8.75**	17.34**	19.15**	93.30**
播种期 Sowing date (S)	17.60**	0.09	0.00	0.00	2.00	21.64**	2.18
品种 Variety (V)	3.66**	32.14**	92.51**	95.32**	64.94**	32.06**	80.83**
生态点 × 播种期 E × S	1.95	1.16	1.66	4.4**	5.27**	22.41**	0.50
生态点 × 品种 E × V	7.13**	4.24**	5.14**	2.11*	11.7**	4.90**	5.26**
播种期 × 品种 S × V	1.71	2.76*	2.20	2.02	4.94**	6.57**	3.46**
生态点 × 播种期 × 品种 E × S × V	2.22*	1.19	1.39	2.00*	1.98*	4.71**	1.29

$F_{0.05}(E) = 2.71$ $F_{0.05}(S) = 3.95$ $F_{0.05}(V) = 2.32$ $F_{0.05}(E \times S) = 2.71$ $F_{0.05}(E \times V) = 1.78$ $F_{0.05}(S \times V) = 2.32$ $F_{0.05}(S \times E \times V) = 1.78$
 $F_{0.01}(E) = 4.00$ $F_{0.01}(S) = 6.92$ $F_{0.01}(V) = 3.23$ $F_{0.01}(E \times S) = 4.00$ $F_{0.01}(E \times V) = 2.24$ $F_{0.01}(S \times V) = 3.23$ $F_{0.01}(E \times S \times V) = 2.24$

、 *：分别表示在 $p < 0.01$ 和 $p < 0.05$ 下的显著相关 Refer to difference at significant level of 0.05 and 0.01, respectively

性状实验数据与其对应的开花至成熟期的日均温、日温差、降雨量和总日照时数间分别进行直线相关和二次曲线相关分析,获取相关系数,并进行显著性测验。

2 结果与分析

2.1 不同生态点与播种期下产量与品质性状的变异

小麦籽粒产量、千粒重、蛋白质含量、湿面筋含量、淀粉含量、降落值和沉降值在不同生态点与不同品种间的差异都达到极显著水平,其中产量、千粒重与降落值在地点间的差异更为显著,品种间的差异则以籽粒蛋白质、湿面筋含量、淀粉含量和沉降值更为显著。不同播种期间只有产量与淀粉含量的差异达到显著水平,早播与适播处理的产量和淀粉含量显著大于晚播。地点 × 播种期的互作除了对湿面筋含量、淀粉含量及沉降值的影响达到显著水平外,对其它品质性状的影响都不显著;地点 × 品种除对湿面筋含量的影响达到显著水平外,对其它品质性状的影响均达到极显著水平;播种期 × 品种对千粒重、降落值、淀粉含量及沉降值的影响达到显著水平,而

地点 × 播种期 × 品种则仅影响产量、湿面筋含量、淀粉含量和沉降值的变化,以对淀粉含量的作用最为显著(表 2)。

对各生态点都种植的 4 个品种(‘徐州 26’、‘豫麦 34’、‘皖麦 38’和‘徐州 25’)在适播与晚播下的产量与品质性状的差异分析表明,徐州点的籽粒产量和千粒重显著高于其它 3 地。保定点的籽粒产量和千粒重水平最低,这可能与本试验选用的品种冬性不强,在保定种植不能发挥其遗传优势有关。南京点籽粒蛋白质与湿面筋含量最低,但淀粉含量最高,且降落值最小,表明南京种植的小麦虽然蛋白质含量较低,但淀粉数量与质量优于其它各地。4 个生态点的沉降值均接近或超过 50 ml,达到强力粉沉降值水平,其中,保定点的沉降值显著大于其它各地,而泰安点的沉降值最小。但泰安点的籽粒蛋白质含量与湿面筋含量却显著高于其它 3 地(表 3)。淀粉含量在不同生态点间的变异系数显著小于其它品质性状,而湿面筋含量的变异系数最大(表 4)。

对南京和徐州两地不同播种期小麦品种产量与品质性状的分析表明,早播的产量与千粒重显著大于适播与晚播,但适播与晚播的蛋白质含量、湿面筋

表 3 小麦产量和主要品质性状在地点间、品种间、播种期间的平均值
Table 3 Average values of yield and quality traits over different wheat varieties, eco-sites and sowing dates

		产量 Yield (kg•hm ⁻²)	千粒重(g) Thousand kernels weight	蛋白质 Protein (%)	湿面筋含量 Wet gluten (%)	沉降值 Sedimentation volume (ml)	淀粉 Starch (%)	降落值 Falling number (s)
生态点 Eco-site	南京 Nanjing	5 365 ^c	46.69 ^b	13.15 ^c	27.94 ^c	56.50 ^b	64.38 ^a	336.9 ^d
	徐州 Xuzhou	6 776 ^a	53.00 ^a	14.24 ^b	28.34 ^b	49.55 ^c	63.29 ^b	463.6 ^b
	泰安 Tai'an	6 124 ^b	45.73 ^c	14.43 ^a	29.43 ^a	49.50 ^c	60.90 ^c	435.6 ^c
	保定 Baoding	3 396 ^d	40.93 ^d	14.30 ^b	28.40 ^b	57.11 ^a	64.54 ^a	467.3 ^a
播种期 Sowing date	早 Early	6 385 ^a	50.56 ^a	12.61 ^b	24.90 ^c	48.33 ^b	63.21 ^c	357.3 ^b
	适 Optimal	6 213 ^b	47.42 ^c	13.26 ^a	27.43 ^a	52.13 ^a	64.10 ^b	377.3 ^a
	晚 Late	6 006 ^c	48.45 ^b	13.21 ^a	26.27 ^b	52.75 ^a	65.03 ^a	378.7 ^a
品种 Variety	‘徐州 26’ ‘Xuzhou 26’	5 876 ^f	51.84 ^b	15.08 ^a	30.80 ^b	43.51 ^f	63.55 ^b	401.7 ^b
	‘豫麦 34’ ‘Yumai 34’	6 626 ^a	55.00 ^a	13.36 ^c	24.81 ^c	60.40 ^a	63.83 ^b	379.5 ^d
	‘皖麦 38’ ‘Wanmai 38’	6 021 ^c	45.94 ^d	14.24 ^b	32.71 ^a	53.49 ^c	61.09 ^c	446.1 ^a
	‘扬麦 10 号’ ‘Yangmai 10’	6 014 ^d	48.00 ^c	13.28 ^c	24.80 ^c	57.06 ^b	62.68 ^d	375.1 ^e
	‘徐州 25’ ‘Xuzhou 25’	5 920 ^e	42.86 ^e	12.28 ^d	23.66 ^d	46.84 ^d	63.05 ^c	385.9 ^c
	‘宁麦 9 号’ ‘Ningmai 9’	6 275 ^b	38.70 ^f	11.08 ^e	23.24 ^d	44.63 ^c	66.39 ^a	292.5 ^f

表中同项同列数据后相同字母表示在 $\alpha = 0.05$ 水平下无显著差异 Data followed by same letters are not significantly different at $\alpha = 0.05$ level in all lines

表 4 小麦产量和主要品质性状在地点间、品种间、播种期间的变异系数
Table 4 The CV of yield and quality traits among different wheat varieties, eco-sites and sowing dates

		产量 Yield (kg•hm ⁻²)	千粒重(g) Thousand kernels weight	蛋白质 Protein (%)	湿面筋 Wet gluten (%)	沉降值 Sedimentation volume (ml)	淀粉 Starch (%)	降落值 Falling number (s)
生态点 Eco-site	南京 Nanjing	15.83	18.31	9.40	13.67	13.99	2.01	7.61
	徐州 Xuzhou	5.11	9.22	7.39	18.63	17.00	7.00	9.19
	泰安 Tai'an	13.15	12.67	11.29	17.74	12.86	4.99	13.03
	保定 Baoding	12.47	7.26	13.53	17.58	11.25	3.62	15.94
	平均 Average	11.64	11.87	10.40	16.91	13.78	4.41	11.44
播种期 Sowing date	早 Early	16.02	15.33	15.05	19.82	21.43	3.29	30.41
	适 Optimal	15.22	19.99	13.56	16.25	13.29	5.40	20.98
	晚 Late	11.12	12.48	9.67	15.85	20.00	4.96	18.90
	平均 Average	14.12	15.93	12.76	17.31	18.24	4.55	23.43
品种 Variety	‘徐州 26’ ‘Xuzhou 26’	15.85	5.19	8.55	9.12	9.52	3.77	27.59
	‘豫麦 34’ ‘Yumai 34’	12.63	10.68	6.68	3.21	8.96	5.41	19.26
	‘皖麦 38’ ‘Wanmai 38’	12.83	15.31	9.39	13.84	8.42	4.68	19.89
	‘扬麦 10 号’ ‘Yangmai 10’	11.71	20.00	11.54	11.80	8.18	3.87	13.08
	‘徐州 25’ ‘Xuzhou 25’	19.10	12.87	6.80	8.41	9.12	4.93	13.75
	‘宁麦 9 号’ ‘Ningmai 9’	12.29	16.30	11.91	11.41	24.56	4.25	13.90
	平均 Average	14.07	13.39	9.15	9.63	11.46	4.49	17.91

含量、淀粉含量、沉降值与降落值都显著高于早播（表 3），表明适宜推迟播种期可提高小麦品质水平，但可能导致产量有所下降。不同播种期间，淀粉含量的变异显著小于其它品质性状的变异，而降落值在播种期间的变异系数最大。早播期产量与品质性状的变异系数大于适播与晚播期，表现出更大的不稳定性（表 4）。
对 6 个小麦品种在南京、泰安和徐州 3 地适播与晚播条件下品质性状的变异分析表明，降落值的

变异系数最大，其次是产量的变异，千粒重的变异系数略低于产量，表明千粒重虽然是产量构成中最稳定的因素，但在不同环境中的变异大于其它性状，淀粉含量的变异系数最小（表 4）。春性或弱春性小麦品种‘豫麦 34’、‘扬麦 10 号’与‘宁麦 9 号’产量的变异系数小于冬性或半冬性小麦品种的变异系数。低蛋白品种‘宁麦 9 号’蛋白质含量与沉降值的变异系数显著大于中、高蛋白品种。高蛋白品种蛋白质含量与‘豫麦 34’湿面筋含量的变异系数最小，但淀粉

含量的变异系数大于其它品种。由此可见,‘豫麦 34’的产量、千粒重显著大于其它品种,但在不同环境中变异较大,其蛋白质含量与面筋含量未表现出优势,但面粉筋力最强,且稳定性好;‘徐州 26’蛋白质含量、湿面筋含量与淀粉含量都较高,且在不同环境条件下保持相对的稳定,同时产量水平也较为稳定,但其沉降值最小,表明其烘烤品质稳定性差。‘皖麦 38’的蛋白质仅次于‘徐州 26’,湿面筋含量显著大于其它品种,但淀粉含量低,降落值最大,淀粉品质及其稳定性差。低蛋白品种‘宁麦 9 号’的千粒重、蛋白质含量、湿面筋含量与沉降值显著小于其它品种,且稳定性差,但淀粉含量最高,降落值最小;低蛋白品种‘徐州 25’蛋白质含量、湿面筋含量与淀粉含量均较低(表 3,表 4)。

2.2 气候生态因子对小麦产量与品质的影响

开花至成熟期的日均温、日温差、降雨量、日照时数等气候生态因子对不同生态环境(4 个生态点)与播种期(早、适、晚播)下 6 个不同类型小麦品种的籽粒产量与品质性状存在不同程度的影响(表 5,图 1)。

籽粒产量与开花至成熟期间的日均温、日温差、总降雨量间的线性相关与二次曲线相关性均达到极显著水平,尤以二次曲线相关性更强,表明随开花后日均温、日温差和降雨量的增大,小麦产量先逐渐增加,超过适宜值后再逐渐减小。开花至成熟期的总日照时数和积温则对产量没有显著影响。千粒重只受到开花至成熟期的日温差和降雨量的影响,二次曲线相关性达到极显著水平。如图 1 所示,产量达到最大的适宜温度为 19~20℃。本研究中随着 4 个生态点纬度的升高,开花后的日均温增大,泰安与

保定点开花后日均温超过 20℃,产量低于徐州。在适宜的日温差范围内(8~9℃),产量与千粒重达到最大水平,日温差大于或小于适宜温度,产量与千粒重都下降。随开花至成熟期总降雨量的增大,产量与千粒重先逐渐增大,当降雨大于 140~150 mm 后,产量和千粒重都将呈下降趋势。

蛋白质含量与开花至成熟期的日均温、日温差、降雨量、日照时数和积温的相关性都达到显著水平。蛋白质含量与日均温间二次曲线拟合的相关性好于线性相关,与日温差、日照时数和积温都呈极显著的线性正相关,而与降雨量间呈现线性负相关关系。表明花后适宜的温度(21~22℃)、充足的日照以及较少的降雨有利于籽粒蛋白质的积累。

湿面筋含量与日均温呈现先升后降的极显著二次曲线相关性,与日温差和日照时数的线性正相关也达到显著水平,而与花后降雨量及积温间无相关性。沉降值只受开花至成熟期日温差的影响,日温差增大,沉降值相应增大。

淀粉含量除与花后总降雨量呈极显著线性正相关外,与花后日均温、日温差和总日照时数都呈线性负相关,与花后积温无相关。表明,花后较少的日照与充足的降雨量有利于淀粉的积累,这也是淀粉与蛋白质含量不能同步增长的主要原因。

降落值与花后气象因子间的相关性类似于蛋白质含量与花后气象因子间的相关性,即与花后总降雨量呈线性负相关,而与日均温、日温差、日照时数及积温均呈极显著线性正相关。

3 讨论与结论

不同生态环境下不同播种期对小麦籽粒产量的

表 5 开花至成熟期气象因子与产量及品质性状的线性相关系数(*r*)
Table 5 The coefficients of linear correlation (*r*) between quality traits and weather factors from anthesis to maturity

气象因子 Weather factor	产量 Yield (kg·ha ⁻¹)	千粒重(g) Thousand kernels weight	蛋白质 Protein (%)	湿面筋 Wet gluten (%)	沉降值 Sedimentation value (%)	淀粉 Starch (%)	降落值 Falling number (s)
日均温 Mean temperature (℃)	-0.59**	-0.25	0.41**	0.34*	0.29	-0.48**	0.66**
日温差 Diurnal temperature difference (℃)	-0.50**	-0.17	0.48**	0.33*	0.32*	-0.56**	0.68**
总降雨量 Total rainfall (mm)	0.52**	0.32*	-0.30*	-0.23	-0.09	0.32**	-0.46**
总日照时数 Total sunshine (h)	-0.05	-0.11	0.48**	0.34*	0.19	-0.37*	0.59**
积温 Growing degree days (℃·day)	0.16	0.26	0.35**	0.14	0.22	-0.15	0.37**

*, **: 同表 2 See Table 2

图1 开花至成熟期的日均温、日温差、降雨量与不同生态点、播种期下6个品种产量及品质的关系

Fig. 1 Relationships between mean temperature, diurnal temperature difference, rainfall from anthesis to maturity and yield and quality traits in wheat

影响已有报道(蔡大同等,1994;郭天财等,2001),不同生态环境下小麦籽粒品质的变异亦研究较多(姚大年等,2000; Tribio & Abad, 2000; Daniel & Triboy, 2002; Rharrabti & Royo, 2003),但不同生态环境与不同播种期组合对不同小麦品种籽粒品质的影响报道较少。本研究结果表明,不同播种期间只有产量与淀粉含量的差异达到显著水平;地点×播种期、播种

期×品种以及地点×播种期×品种的互作对淀粉含量与沉降值的影响均达到显著水平,而对蛋白质含量的影响不显著。前人研究认为蛋白质和湿面筋含量主要受地点生态环境的影响(郭天财等,2001;荆奇等,2003),本研究结果表明蛋白质、湿面筋含量、淀粉含量与沉降值在品种间的变异大于地点间的变异。据林素兰(1997)报道,在23°~45.7°N之间,纬

度每升高 1°, 蛋白质含量增加 0.54%; 金善宝(1992)指出, 蛋白质和湿面筋含量与纬度呈正相关。但在本研究的 4 个生态点中, 高纬度下保定点的平均蛋白质含量低于泰安点; 虽然高蛋白品种‘徐州 26’与‘豫麦 34’表现为随纬度的升高蛋白质与湿面筋含量增加, 但中、低蛋白品种则表现为徐州点的蛋白质与湿面筋含量最高。由此可见, 籽粒蛋白质与面筋含量在不同生态环境间的变化与品种的生态适应性密切相关。

庄巧生(1999)指出, 在气候、土壤、品种 3 个因子中, 气候生态因子对小麦品质的影响最大, 以温度、光照和水分最为重要。而在诸气候生态因子中, 小麦开花至成熟期间的日平均温度是影响小麦品质的首要因子, 其次是日温差, 降雨量和日照时数(王绍中和章练红, 1994; 荆奇等, 2003; 郭天财等, 2003; Rharrabti & Royo, 2003)。文献表明, 籽粒淀粉含量与开花成熟期的日均温呈二次曲线的相关关系(姚大年等, 2000; Daniel & Triboy, 2002); 而本研究结果显示, 小麦籽粒淀粉含量随着开花至成熟期日均温的升高线性递减。这可能是因为, 小麦淀粉形成的适宜温度在 15 ~ 20 °C 间(金善宝, 1992; 姚大年等, 2000), 而本研究中 4 个生态点开花至成熟期的日均温集中于 17 ~ 24 °C 之间, 处于适宜温度的上限并超出适温范围, 因而出现随温度升高淀粉含量递减的变化趋势。因此, 籽粒产量与品质的协调增长需要适宜的日均温、日温差、降雨量和光照, 由于不同品种对生态环境的适应性不同, 对适宜温、光、水分条件的要求也有所不同。优质小麦生产中应根据不同的生态条件选用适应性强的品种, 并适当调节播种期, 以充分合理地利用当地的温、光、水、热资源, 从而综合改善小麦的籽粒品质。

参 考 文 献

- Cai DT (蔡大同), Wang YB (王义柄), Mao ZS (茆泽圣), Lin CF (林长丰) (1994). The effect of sowing date and nitrogen application under different ecosystem on the yield and quality of superior wheat variety. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 9, 72 – 83. (in Chinese with English abstract)
- Daniel C, Triboy E (2002). Changes in wheat protein aggregation during grain development: effects of temperatures and water stress. *European Journal of Agronomy*, 16, 1 – 12.
- Guo TC (郭天财), Zhang XL (张学林), Fan SP (樊树平), Zhu YJ (朱云集) (2003). Effect of different environments on qualitative characters of three gluten wheat cultivars. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 4, 917 – 920. (in Chinese with English abstract)
- Guo TC (郭天财), Pen Y (彭羽), Zhu YJ (朱云集), Liu WD (刘万代), Cui JM (崔金梅) (2001). Effect of sowing dates on the winter wheat. *Farming and Cultivation* (耕作与栽培), 2(1), 19 – 20. (in Chinese with English abstract)
- Jin SB (金善宝) (1992). *The Theory and Practice of Wheat Ecology* (小麦生态理论与应用). Zhejiang Science and Technology Press, Hangzhou, 167 – 181. (in Chinese)
- Jing Q (荆奇), Jiang D (姜东), Dai TB (戴廷波), Cao WX (曹卫星) (2003). Effects of genotypes and environment on wheat grain quality and protein components. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 14, 1649 – 1653. (in Chinese with English abstract)
- Lin SL (林素兰) (1997). Effects of environment and cultivating technology on wheat quality. *Liaoning Agricultural Science* (辽宁农业科学), 2(1), 30 – 31. (in Chinese with English abstract)
- Motzo R, Giunta F, Deidda M (1996). Relationships between grain-filling parameters, fertility, earliness and grain protein of durum wheat in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 47, 129 – 143.
- Rharrabti Y, Royo C (2003). Durum wheat quality in Mediterranean environments. I. Quality expression under different zones, latitudes and water regimes across Spain. *Field Crops Research*, 80, 121 – 131.
- Tribio E, Abad A (2000). Environmental effects on the quality of two wheat genotypes. I. Quantitative and qualitative variation of storage proteins. *European Journal of Agronomy*, 13, 47 – 64.
- Wu DB (吴东兵), Cao GC (曹广才), Qiang XL (强小林), Li M (李萌) (2003). Effects of growing process and climatic conditions on grain quality of spring sown wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 14, 1296 – 1300. (in Chinese with English abstract)
- Wang SZ (王绍中), Zhang LH (章练红) (1994). Effects of environment on wheat quality characters. *Acta Agriculture Boreali-Sinica* (华北农学报), 9(Suppl.), 141 – 144. (in Chinese with English abstract)
- Yao DN (姚大年), Li BY (李保云), Liang RQ (梁荣奇), Liu GT (刘广田) (2000). Effects of wheat genotypes and environments on starch properties and noodle quality. *Journal of China Agricultural University* (中国农业大学学报), 5(1), 63 – 68. (in Chinese with English abstract)
- Zhang Y (张艳), He ZH (何中虎), Zhou GY (周桂英), Wang DS (王德森) (1999). Genotype and environment effects on major quality characters of winter-sown Chinese wheat. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association* (中国粮油学报), 14(5), 1 – 5. (in Chinese with English abstract)
- Zhuang QS (庄巧生) (1999). *Paper Collections of Zhuang Qiao Sheng* (庄巧生论文集). China Agriculture Press, Beijing, 82 – 83. (in Chinese)