

不同试点灌溉方式对冬小麦产量和品质性状的影响

白莉萍^{1,2}, 林而达^{2,*}, 饶敏杰²

(1. 中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室, 北京 100093; 2. 中国农业科学院农业气象研究所, 北京 100081)

摘要:小麦是我国主要的粮食作物之一。随着人们生活水平的提高, 对小麦高品质的需求日益迫切。未来全球环境变化背景下, CO₂ 浓度升高、气候变暖、降水格局变化等将可能影响作物的生理过程, 继而影响作物产量和质量。为此, 选择两个试点(CO₂ 浓度、温度等环境条件不同), 同期进行不同灌溉方式对两个冬小麦品种(中育 5 号和中优 9701)的产量和品质影响的试验研究。结果表明: 2 灌(拔节水和开花水)对小麦经济产量最有利; 小麦生育后期增加灌溉可提高千粒重, 尤其浇灌浆水对增加千粒重有利。在小麦拔节后期, 随灌溉增加, 小麦品质性状普遍呈现下降趋势, 但个别品质性状因品种而异, 即灌溉增加, 对中优 9701 的面包体积影响不大, 对其沉降值、面团拉伸参数反而有利。同一品种产量和品质性状有明显的地域差异, 在小麦开花至成熟期, 大田环境 CO₂ 浓度较高(增幅 69.0 $\mu\text{mol}/\text{mol}$)、日均温度高 2℃ 多的北京试点, 与安阳试点相比, 产量表现较低, 多数小麦品质性状较优。说明北京试点的环境条件有益于品质改善, 不利于产量提高, 而且在小麦生育后期较高温度可能更为影响小麦产量和品质。从而在未来全球气候变暖背景下, 温度小幅增加将可能改善小麦品质, 但产量减少。

关键词:灌溉方式; 冬小麦; 产量和品质; 生态环境变化

Effects of irrigation schemes on yield and quality of winter wheat on different sites

BAI Li-Ping^{1,2}, LIN Er-Da^{2,*}, RAO Min-Jie² (1. Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; 2. Institute of Agriculture meteorology, Chinese Academy of Agricultural and Science, Beijing 100081, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 917~922.

Abstract: Wheat is one of the main food crops in China. With improvement in living conditions, the demand for high quality wheat grain is increasing. Under the scenario of future global climatic change, enhanced CO₂ concentration, warming, as well as altered precipitation pattern might affect the physiological processes of crop plants, thus influencing both the yield and qualities of the grain. The objective of this research was to examine effects of irrigation schemes on the yield and grain quality in winter wheat of different genotypes (ZhongYu five and ZhongYou 9701) grown on different sites where environmental factors such as CO₂ concentration and temperature were different. Results showed that irrigations at shooting and flowering stages were the most beneficial to economic yield of wheat, and that irrigation at late stage of wheat growth increased the kernel weight, especially irrigation at the filling stage. After the shooting stage, increased irrigation reduced the overall quality of the grain, but had minor effect on the bread volume of ZhongYou 9701 benefiting from increased sedimentation value and dough extensograph parameters. The grain yield and quality of the same genotype exhibited great discrepancy on different sites. During the period from florescence to maturation, the wheat crops of the Beijing experimental site produced lower yield but higher quality of the grain compared with the Anyang experimental site, corresponding to relatively enriched CO₂ concentration (69.0 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ higher) and higher daily mean temperature (more than 2℃ higher) in Beijing. These results demonstrated a trade-off between the yield and quality of the grain as influenced by changes in environmental conditions.

基金项目:国家重大基础研究规划资助项目(G1999043404, G1999043407); 国家自然科学基金资助项目(49905005)

收稿日期:2004-06-01; **修订日期:**2004-11-26

作者简介:白莉萍(1969~), 女, 宁夏人, 博士, 主要从事旱农和全球变化对农业影响研究。

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: Lined@ami.ac.cn.

Foundation item: National Key Basic Research Specific Foundation (No. G1999043404, G1999043407) and National Natural Science Foundation of China (No. 49905005).

Received date: 2004-06-01; **Accepted date:** 2004-11-26

Biography: BAI Li-Ping, Ph. D., mainly engaged in arid land farming and effect of global change on agriculture.

Furthermore, higher temperature at later stage of wheat growth would be more likely to influence the yield and quality of the grain. It is suggested that a slight increase in temperature, as projected to occur with global climatic warming, would benefit the quality of the wheat grain at the expense of reduced yield.

Key words: irrigation scheme; winter wheat; yield and quality; ecological environment change

文章编号:1000-0933(2005)04-0917-06 中图分类号:S5127 文献标识码:A

小麦是我国主要的粮食作物之一。由于我国小麦生产长期偏重产量,忽视品质^[1],致使我国小麦品质研究远落后于欧美、加拿大及澳大利亚诸国^[2]。普遍认为,作物产量和质量是基因型和环境条件互相作用的综合表现。不同生态环境下的小麦品质性状有显著差异,而且栽培方式如灌溉亦对品质有较大影响^[3~5]。有人认为,在小麦籽粒开始灌浆到蜡熟末期,气候和土壤等因子的差异(包括 CO₂ 浓度、温度、水分等)对籽粒品质影响最大^[6]。其中土壤水分的多寡不仅影响小麦的生长发育,亦影响土壤有效养分的释放,从而影响作物品质^[7~11]。加之,未来全球环境变化背景下,CO₂ 浓度升高、气候变暖、降水格局变化等必将影响作物的生理过程,继而影响作物产量和质量。因此,选择不同试点(CO₂ 浓度背景值、温度等环境条件不同)、不同品种进行不同灌溉方式下同期的冬小麦产量和品质试验研究,以探索冬小麦各生育期水分变化对小麦产量和品质的影响,以及在不同生态环境条件下主要环境因素(包括 CO₂ 浓度、温度、水分等)对小麦产量和品质的综合影响,从而为品种改良、种植结构调整以及促进农产品加工等提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与方法

选用两个冬小麦品种,即中优 9701(高蛋白中产品种,不耐干热)与中育 5 号(河南省中高蛋白高产小麦新品种,较耐干热),于 2000~2001 年分别在北京中国农业科学院农业气象研究所试验站和河南安阳棉花研究所进行定点大田试验种植。为保证中育 5 号在北京能安全越冬,12 月初覆盖薄膜,至来年返青后揭膜。每个处理小区 24~30 m²,小区间隔 2 m,以防渗水影响。播量均为 150 kg/hm²,播种期为两地冬小麦的适宜播期,即北京、安阳试点播期-收获期分别为 10 月 10 日~次年 6 月 13 日、10 月 30 日~次年 6 月 2 日。北京试点土壤类型为粘壤土,0~30 cm 土壤理化性状:速效 N 101.03 mg/kg、速效 P 49.93 mg/kg、速效 K 95.60 mg/kg、土壤耕层有机质 4.30%;安阳试点为砂壤土,0~30 cm 土壤理化性状:速效 N 102.65 mg/kg、速效 P 13.02 mg/kg、速效 K 113.42 mg/kg,土壤耕层的有机质 1.34%。土壤养分供施充足,即两个试点的施肥量均为:纯 N 为 150 kg/hm² (N:P=2:1),纯 P 为 75 kg/hm²,纯 K₂O 为 150 kg/hm²;施肥方式:底肥 N 占 60%;追肥 N 占 40%(拔节-开花期),病虫杂草等田间管理基本一致。但两地灌水处理略有不同(除对比试验外,还考察冬小麦在不同生育期灌水对产量与品质的影响),即北京试点的灌水处理为 1 灌(仅有拔节水)、2 灌(拔节水和开花水)和 3 灌(拔节水、开花水和灌浆水),而河南安阳试点的灌水处理为 2 灌(拔节水和开花水)、3 灌(拔节水、开花水和灌浆水)和 4 灌(拔节水、开花水、灌浆水和麦黄水)。每次灌水均为 825 m³/hm²,灌水前均有充足的底水和冻水。

1.2 试点大田环境要素测定

北京试点在冬小麦大田中安置 CO₂ 采样管(小麦冠层上方 30~50 cm 处),采用 CO₂ 红外分析仪(ASSA-1610)从开花期至成熟期每天间隔 2 h 测定 1 次 CO₂ 浓度。

河南试点则在小麦开花期与成熟期分别选择 3d 晴日,在每天 9:00~11:00、14:00~16:00、18:00~20:00 之间分 3 次抽取麦田冠层上方 30~50 cm 处的大气背景气样。气样用 SP3420 气相色谱仪测定 CO₂,并用热导检测器(TCD)检测。测定条件为:柱温 40℃、进样温度 50℃、检测器温度 50℃,载气为 H₂,流速 30 ml/min。

因北京试点处市内,且在家属区和道路旁,开花至成熟时期 CO₂ 浓度偏高(417.0 μmol/mol,为多日平均值);而安阳试验地块离市郊较远,CO₂ 浓度接近当前大气水平(348.0 μmol/mol,为多日平均值),两地之差为 69.0 μmol/mol。

此外,两地大田环境中均设有气象要素如每日温度(1 次/15min)、降雨量等的测定。小麦开花到成熟时期的日均气温和最高气温(均为多日平均值):北京试点分别为 25.8℃和 32.1℃,安阳试点分别为 23.5℃和 29.6℃。北京试点的日均气温和最高气温较安阳试点分别高出 2.3℃和 2.5℃。小麦开花至成熟期的降雨量在两地几乎没有差异(北京试点 0.2 mm,安阳试点 0.3 mm)。

1.3 产量与品质测定

小麦收获后,测定千粒重以及经济产量(全收获法)。并在每小区呈对角线取样 5 处,待小麦籽粒后熟 2 个月后测定品质。测定项目:磨粉(用瑞典 BUHLER 实验磨, AACC 26-20 法)、水分测定(GB 5497-85)、籽粒蛋白含量(采用 Dickey-john INSTALAB 600 近红外分析仪, Near-infrared Reflectance, NIR, 澳大利亚)、Zeleny 沉降值(德国 Brabender 公司制造的沉降仪, AACC 56-61A 常量法)、粉质仪参数(德国 Brabender 公司的 810104 型粉质仪, AACC 54-21 标准恒定面粉重量法)、拉伸仪

参数(德国 Brabender 公司拉伸仪,AACC 54-10 标准法)以及 面包烘焙试验(美国 National 仪器制造公司的实验室烘烤设备,面包体积用专用体积计即菜籽置换法)。以上品质测定均在农业部谷物品质监督检验测试中心(中国农科院作物所)进行。

2 结果与分析

2.1 灌溉方式对小麦产量的影响

两个品种的经济产量在 2 灌时均达到最高(表 1),1 灌时产量最低,3 灌居中。即 2 灌最有利于小麦高产,1、3 灌均使产量下降,尤其 4 灌对产量极为不利,说明灌溉过多过少都不益于产量提高。千粒重随灌水量的增加而增大,但因品种而异,中优 9701 在 2、3 灌时,千粒重差异不大,而中育 5 号的千粒重在 3 灌时最高。同一品种产量有明显的地域差异,同为 2 灌,安阳试点中育 5 号和中优 9701 的最高产量分别比北京试点高出 28.74%和 36.23%。尽管北京试点环境中 CO₂ 浓度偏高,对产量形成有利,但产量反而较低,可能是由于北京试点小麦后期遭遇强烈的高温干热风之故。

表 1 灌溉方式对不同冬小麦品种产量的影响*

Table 1 Effect of irrigation manner on yields of different winter wheat genotypes*

灌溉方式 Irrigation manner	中育 5 号 ZhongYu five			中优 9701 ZhongYou 9701		
	千粒重(g,北京)	产量(北京)	产量(安阳)	千粒重(g,北京)	产量(北京)	产量(安阳)
	Thousand kernel weight (Beijing)(g)	Yield(Beijing)(g/m ²)	Yield(Anyang)(g/m ²)	Thousand kernel weight (Beijing)(g)	Yield(Beijing)(g/m ²)	Yield(Anyang)(g/m ²)
1 灌 One	29.71	365.9		20.37	309.3	
2 灌 Two	34.52	570.1	800.0	22.63	438.9	688.3
3 灌 Three	36.04	510.9	733.3	22.62	364.0	653.3
4 灌 Four			686.7			595.0

* 1 灌 拔节水;2 灌 拔节水+开花水;3 灌 拔节水+开花水+灌浆水;4 灌 拔节水+开花水+灌浆水+麦黄水;每次灌水量相同(以下相同);千粒重为每个样品重复测定的平均值,标准差不超过 0.7 g Irrigation once only at shooting period; irrigation twice at shooting and flowering periods; irrigation thrice at shooting, flowering and filling periods; irrigation four times at shooting, flowering, filling and “Milky” periods. And same water quantity at per irrigation(the same below); The averages of thousand-kernel weight are in duplicate or more analysis, and the standard error is not more than 0.7 g

2.2 灌溉方式对小麦籽粒蛋白质含量和面粉沉降值的影响

随灌水量的增加,即由 1 灌至 3 灌,两个品种籽粒蛋白质含量均表现下降趋势(表 2)。譬如,在北京试点,中育 5 号和中优 9701 在 3 灌的蛋白质含量较 1 灌分别减少了 1.6%和 2.4%。另外,小麦中后期灌溉方式的不同对中育 5 号的籽粒蛋白质含量则影响不大。在相同灌溉处理下,中育 5 号和中优 9701 的籽粒蛋白质含量在北京试点均较安阳试点的高。

表 2 灌溉方式对不同冬小麦品种籽粒蛋白质含量(%)的影响*

Table 2 Effect of irrigation manner on grain protein contents (%) of different winter wheat genotypes*

灌溉方式 Irrigation manner	北京试点 Beijing experimental location		安阳试点 Anyang experimental location	
	中优 9701(ZhongYou 9701)	中育 5 号(ZhongYu five)	中优 9701(ZhongYou 9701)	中育 5 号(ZhongYu five)
1 灌(One)	18.8	15.6		
2 灌(Two)	17.1	15.0	15.0	13.6
3 灌(Three)	16.4	14.0	14.7	13.5
4 灌(Four)			14.4	13.6

* 分析结果为每个样品重复测定的平均值,标准差不超过 2%~3%,并以 14%湿基表示,The average of sample in duplicate or more analysis,the standard error is not more than 2%~3%,and the results on a 14% moisture basis

灌溉方式不同,不仅对小麦面粉沉降值有明显影响,而且品种间差异大(表 3)。随灌溉增加,中育 5 号沉降值逐渐减少,如其在北京试点 3 灌的沉降值较 1 灌降低了 29.90%。可见,小麦开花后期灌溉对中育 5 号沉降值有不利影响。然而,中优 9701 在

表 3 灌溉方式对不同冬小麦品种沉降值(ml)的影响*

Table 3 Effect of irrigation manner on sedimentation values (ml) of different winter wheat genotypes

灌溉方式 Irrigation manner	北京试点 Beijing experimental location				安阳试点 Anyang experimental location			
	中优 9701	ZhongYou 9701	中育 5 号	ZhongYu five	中优 9701	ZhongYou 9701	中育 5 号	ZhongYu five
1 灌 One		62.2		39.8				
2 灌 Two		60.0		35.9		43.5		23.9
3 灌 Three		67.6		27.9		47.0		21.0

* 分析结果为每个样品重复测定的平均值,标准差不超过 2 ml,并以 14%湿基表示 The average of sample in duplicate or more analysis,the standard error is not more than 2 ml,and the results on a 14% moisture basis

3 灌时,两试点的沉降值均达到最高,说明 3 灌对增加其沉降值反而有利。同一品种沉降值有明显的地区差异,如在 2 灌、3 灌时,北京试点中优 9701 和中育 5 号的沉降值比安阳试点分别高出 16.5ml 和 12ml、20.6ml 和 6.9ml。

2.3 灌溉方式对小麦面团流变学特性的影响

小麦生长后期灌溉增加对面团粉质仪值有所不利,影响程度也因品种而异(表 4)。譬如,两个品种面团粉质评价值都有所下降,中优 9701 的面团形成时间和稳定时间均明显减少,但中育 5 号面团的评价值、形成时间和稳定时间则受灌溉方式的影响较小。同一品种面团粉质仪参数有明显的地区差异,在 2、3 灌时,中育 5 号面团粉质仪值在北京试点表现较高,但中优 9701 的面团粉质仪值却在安阳试点表现良好。这种影响差异可能说明北京试点的环境条件对中育 5 号的粉质参数更为有利,而安阳试点的环境条件却对中优 9701 的粉质参数有益。

灌水量不同,对品种间面团拉伸参数的影响亦有所不同(表 5)。随灌水增加,中育 5 号拉伸面积、延伸性及最大抗延阻力均呈现下降趋势,但中优 9701 却有所差异,基本表现上升趋势,且在 3 灌时最大抗延阻力达到最高。可见,小麦后期灌溉对中优 9701 的面团拉伸参数有利。另外,两个品种的拉伸面积和最大抗延阻力在北试点均较安阳试点的高。可能说明,北京试点的环境条件对小麦拉伸参数性状相对有利。

表 4 灌溉方式对面团粉质仪参数的影响*
Table 4 Effect of irrigation manner on dough farinograph of different winter wheat genotypes

试点 Experimental locations	灌溉方式 Irrigation manner	中育 5 号 ZhongYu five			中优 9701 ZhongYou 9701		
		形成时间	稳定时间	评价值	形成时间	稳定时间	评价值
		Development-time (min)	Stable-time (min)	Valorimeter	Development-time (min)	Stable-time (min)	Valorimeter
北京试点 Beijing	1 灌 One	2.5	4.5	45	11	10	80
	2 灌 Two	2.5	4.5	44	9	9.5	73
	3 灌 Three	2.5	3.5	44	8	8.5	70
安阳试点 Anyang	2 灌 Two	2.0	2.0	40	15	19	91
	3 灌 Three	1.5	1.5	36	13	17	87

* 分析结果以 14%湿基表示 The result is on a 14% moisture basis

表 5 灌溉方式对面团拉伸仪参数的影响*
Table 5 Effect of irrigation manner on dough extensograph of different winter wheat genotypes

试点 Experimental locations	灌溉方式 Irrigation manner	中优 9701 ZhongYou 9701			中育 5 号 ZhongYu five		
		拉伸面积	延伸性	最大抗延阻力	拉伸面积	延伸性	最大抗延阻力
		Extendible area (cm ²)	Extensibility (mm)	Maximum resistance (BU)	Extendible area (cm ²)	Extensibility (mm)	Maximum resistance (BU)
北京试点 Beijing	1 灌 One	170.4	168.4	783.9	79.0	167.1	371.0
	2 灌 Two	190.7	173.2	839.6	75.9	156.9	341.9
	3 灌 Three	187.2	175.9	846.4	56.1	154.2	264.3
安阳试点 Anyang	2 灌 Two	142.6	181.3	611.5	34.7	148.1	168.6
	3 灌 Three	146.9	175.2	653.9	26.0	140.7	118.7

* 分析结果以 14%湿基表示; 样品分析时间为 135min The results on a 14% moisture basis; the time of sample analysis is in 135 minutes

2.4 灌溉方式对冬小麦烘烤品质的影响

灌水量的多寡对小麦烘烤品质的影响有明显的品种和地域差异性(表 6)。譬如,随灌溉增加,中育 5 号面包体积呈现明显的下降趋势,但其面包评分则下降较小,甚至在安阳试点无变化(面包体积下降幅度仍在一个评分计量中);而中优 9701 面包体积和面包评分则几乎不受影响,只是在安阳试点,后期灌溉增加,其烘烤品质性状略显降低,但降低幅度不大。

地区的差异性则表现在:中育 5 号和中优 9701 在北京试点的面包体积均优于安阳试点。由于面包体积是烘烤品质最直接的反映(除了面包体积外,面包评分完全凭借技术人员的感官经验,有较强的主观意识)。因此,小麦后期灌溉对中育 5 号烘烤品质有不良影响,而对中优 9701 的则影响微小。

3 结论与讨论

总体而言,小麦生育后期增加灌溉可提高千粒重,尤其浇灌浆水对增加千粒重有利。这与梁振兴等^[12]的研究结论一致,即灌浆水可提高小麦籽粒后期灌浆速度、增加粒重。而 2 灌(拔节水和开花水)对经济产量最有利。前人研究表明,小麦拔节-孕穗期与扬花-灌浆期是影响小麦产量的两个最大灌水效益期,保证这两水均有利于后期干物质生产或促进物质向籽粒运转^[12]。可见,灌溉方式的运筹应保证小麦中、后期的 2 次需水,即可达到节水高产的目的。

表 6 灌溉方式对不同冬小麦品种烘烤品质的影响*
Table 6 Effect of spring irrigation on baking properties of different winter wheat genotypes

试点 Experimental locations	灌溉方式 Irrigation manner	中育 5 号 ZhongYu five		中优 9701 ZhongYou 9701	
		面包体积 Bread loaf volume(cm ³)	面包评分 Bread score	面包体积 Bread loaf volume(cm ³)	面包评分 Bread score
北京试点 Beijing	1 灌 One	810	82.8	933	83.0
	2 灌 Two	800	80.8	930	83.0
	3 灌 Three	755	78.8	930	83.0
安阳试点 Anyang	2 灌 Two	678	68.0	783	88.0
	3 灌 Three	664	68.0	765	85.8

* 分析结果为每个样品重复测定的平均值,标准差不超过 10 cm³,并以 14%湿基表示 The average of sample in duplicate or more analysis,the standard error is not more than 10 cm³,and the results on a 14% moisture basis

本研究表明,随灌水量增加,两个品种的籽粒蛋白质含量均表现下降趋势,且对面团粉质仪值有所不利,但中育 5 号粉质仪值受之影响较小;对中育 5 号沉降值、面团拉伸参数、面包体积均为不利,但却对中优 9701 的沉降值、面团拉伸参数有利,尤其在 3 灌时,其沉降值、最大抗延阻力均达到最大,但其面包体积变化不大。由此说明,灌溉方式的变化对不同品种、品质性状的影响存在很大差异。

显而易见,小麦中后期适度受早有利于蛋白质含量的提高,但产量下降。这与前人的研究结论不悖,即缺水旱地小麦可能获得较高的蛋白质含量但低产^[7],较高的土壤湿度对蛋白质含量等品质性状有较大的负面影响^[8,9],生育后期尤为明显^[10]。另外,毛凤梧等^[11]认为,浇灌浆水可使面粉沉降值增加;许振柱^[9]等认为严重水分亏缺降低沉降值,但一定程度的干旱胁迫则促其升高;赵广才等人^[13]的研究亦揭示,减少灌溉次数可显著提高中优 9507 的沉降值。而本研究表明,灌溉增加,沉降值既有升高,也有降低,皆因品种差异。由此可见,研究结论看法不一,可能主要是品种和灌溉处理的差异所致。

生态环境因素的变化将对小麦产量与品质产生综合影响。在相同灌溉处理下,同一品种的产量和品质性状有明显的地域差异性。在北京试点环境中,小麦开花至成熟期 CO₂ 浓度、温度较高(最高温度超过 30℃)时,冬小麦产量较低,但多数小麦品质性状诸如籽粒蛋白质含量、沉降值、拉伸面积、最大抗延阻力及面包体积均高于安阳试点。有研究表明,土壤质地粘壤比砂壤更利于小麦籽粒蛋白质含量提高^[14];小麦灌浆期温度超过 30℃后将会降低小麦粒重和产量^[15];CO₂ 浓度增加将降低籽粒含 N 量和蛋白含量^[16~18];温度小幅增加(2~4℃)可能比 CO₂ 浓度增加对作物品质更具影响力^[19]。那末,除了北京试点的粘壤对提高籽粒蛋白质含量起了一定作用外,CO₂ 浓度增加幅度(69.0 μmol/mol)不大,小麦生育后期日均温度(或最高气温)高 2℃多时,也许更能影响小麦产量和品质,即北京试点的较高温度可能对多数品质性状的改善起了较大作用。由此可能意味着,在未来全球气候变化背景下,气候变暖将可能为我国冬小麦北扩西延提供有利条件,若品种不更换的话,温度小幅增加将在很大程度上改善冬小麦的品质,但对产量不利。

以上所得结果为初步结论,由于客观条件所限,没有设置重复试验,但因小区面积较大,并在每个小区内多点取样,所取样品的品质性状在标准范围内至少测定两次以上,以及两点、两品种的同期试验,在一定程度上或许可弥补没有重复的缺憾。但今后,若条件许可,尽可能进行不同生态环境条件下,多点、多年、多品种的小麦产量和质量的综合影响研究,以更具说服力。

References:

[1] Jing Q, Cao W X, Dai T B. Research on the formation and regulation of grain quality in wheat. *Tritical Crops*, 1999, **19**(4): 46~49.
[2] Xin W L and Qi S Y. The questions and suggestions of wheat variety quality in China. *Heilongjiang Agricultural Science*, 1998, **4**: 44~46.
[3] Yu Y X, Yang T H, Chen K L, *et al.* Influence of different environments and cultivation ways on wheat quality characters. *Southwest China Journal of Agricultural Science*, 2001, **14**(2): 14~17.
[4] Jing Q, Jiang D, Dai T B, *et al.* Effects of genotype and environment on wheat grain quality and protein components. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, **14**(10): 1649~1653.
[5] Gu K J, Yang S J, Zhang H G, *et al.* Analysis of factors affecting wheat quality and cultured measure of special wheat variety. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2001, **29**(6): 725~728.
[6] Jin S B. *The ecological theory and application of wheat*. Hangzhou: Zhejiang Scientific and Technological Press, 1992. 166~182.
[7] Zheng J F and Li S Q. Analysis of soil environmental factors which affect protein content of winter wheat. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.*, 2003, **23**(12): 2132~2136.
[8] Sun Y K, Wang L J and Shen N Z. Influence of climate factors on yield and protein content of spring wheat during grain filling period II.

- Water effect. *Agricultural Meteorology*, 2003, **24**(2): 16~18.
- [9] Xu Z Z, Yu Z W, Wang D, *et al.* Effect of irrigation condition on protein composition accumulation of grain and its quality in winter wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2003, **29**(5): 682~687.
- [10] Ma X M, Li L and Liao X Z. Effect of different water control on kernel quality and photosynthetic characteristics of flag leaves in winter wheat. *Journal of He'nan Agricultural University*, 2004, **38**(1): 13~16.
- [11] Mao F W, Zhao H J, Xu L X, *et al.* Regulating effect of strategy of irrigation and fertilization on the formation of quality of wheat. *Journal of He'nan Agricultural University*, 2001, **35**(1): 13~16.
- [12] Liang Z X and Liu X H. *The theory of planting technology in the formation of wheat yield*. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1994. 38~129.
- [13] 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 Zhongyou 9507 high gluten wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, **37**(3): 351~356.
- [14] Wang S Z and De K J. Study on quality ecology and quality regional division in wheat II. The relationship between ecological factor and wheat quality. *He'nan Agricultural Science*, 1995, **11**: 3~6.
- [15] Li Y G, Jiang G M and Yang J C. Effects of temperature on carbon and nitrogen metabolism, yield and quality of wheat. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, **27**(2): 164~169.
- [16] Blumenthal C, Rawson H M, Mckenzie E, *et al.* Changes in wheat grain quality due to doubling the level of atmospheric CO₂. *Cereal-Chemistry*, 1996, **73**: 762~766.
- [17] Kimball B A, Morris C F, Pinter P J Jr, *et al.* Elevated CO₂, drought and soil nitrogen effects on wheat grain quality. *New Phytologist*, 2001, **150**: 295~303.
- [18] Monje O and Bugbee B. Adaptation to high CO₂ concentration in an optimal environment: radiation capture, canopy quantum yield and carbon use efficiency. *Plant, Cell and Environment*, 1998, **21**: 315~324.
- [19] Morison J I L and Lawlor D W. Interactions between increasing CO₂ concentration and temperature on plant growth. *Plant, Cell and Environment*, 1999, **22**: 659~682.

参考文献:

- [1] 荆奇,曹卫星,戴廷波. 小麦籽粒品质形成及其调控研究进展. 麦类作物, 1999, **19**(4): 46~49.
- [2] 辛文利,祁适雨. 关于我国小麦品种品质存在问题及其建议. 黑龙江农业科学, 1998, **4**: 44~46.
- [3] 于亚雄,杨廷华,陈坤玲,等. 生态环境和栽培方式对小麦品质性状的影响. 西南农业学报, 2001, **14**(2): 14~17.
- [4] 荆奇,姜东,戴廷波,等. 基因型与生态环境对小麦籽粒品质与蛋白质组分的影响. 应用生态学报, 2003, **14**(10): 1649~1653.
- [5] 顾克军,杨四军,张恒敢,等. 小麦品质影响因素分析及专用小麦优质栽培途径的探讨. 安徽农业科学, 2001, **29**(6): 725~728.
- [6] 金善宝. 小麦生态理论与应用. 杭州:浙江科学技术出版社, 1992. 166~182.
- [7] 郑剑峰,李世清. 影响冬小麦蛋白质含量的土壤环境因素分析. 西北植物学报, 2003, **23**(12): 2132~2136.
- [8] 孙彦坤,王丽娟,沈能展. 籽粒灌浆过程气候因子对不同品质类型春小麦产量和蛋白质含量的影响之二:水分的影响. 中国农业气象, 2003, **24**(2): 16~18.
- [9] 许振柱,于振文,王东,等. 灌溉条件对小麦籽粒蛋白质组分积累及其品质的影响. 作物学报, 2003, **29**(5): 682~687.
- [10] 马新明,李琳,廖祥正. 不同水分处理对小麦生育后期光合特性及籽粒品质的影响. 河南农业大学学报, 2004, **38**(1): 13~16.
- [11] 毛凤梧,赵会杰,徐立新,等. 水肥运筹对小麦品质形成的调控效应,河南农业大学学报, 2001, **35**(1): 13~16.
- [12] 梁振兴,刘兴海. 小麦产量形成的栽培技术原理. 北京:北京农业大学出版社, 1994. 38~129.
- [13] 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.
- [14] 王绍中,邓克己. 小麦品质生态及品质区划研究 II. 生态因子与小麦品质的关系. 河南农业科学, 1995, **11**: 3~6.
- [15] 李永庚,蒋高明,杨景成. 温度对小麦碳氮代谢、产量及品质影响. 植物生态学报, 2003, **27**(2): 164~169.