

灌溉条件对小麦籽粒蛋白质组分积累及其品质的影响

许振柱^{1,2} 于振文^{1,*} 王东¹ 张永丽^{1,*}

(¹山东农业大学农业部小麦栽培生理与遗传改良重点开放实验室, 山东泰安 271018; ²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)

摘要 利用防雨池栽方式研究土壤水分对 2 个品质类型品种蛋白质积累及品质影响。结果表明,籽粒灌浆过程中蛋白质含量的动态变化呈“V”字型曲线。花后 7 d 和 14 d 均以水分亏缺严重处理最高,但至花后 35 d,济南 17 以水分亏缺最严重的最低,鲁麦 21 则以该处理最高。干旱能促进清蛋白和球蛋白含量在灌浆初期的积累,但至灌浆末期转为降低。土壤水分亏缺严重或过多均不利于贮藏蛋白的积累。籽粒中谷蛋白大聚合物(GMP)含量在开花 7 d 后随着灌浆进程而增加,花后 14 d 土壤水分亏缺有促进积累的作用,而后,土壤水分严重亏缺或过多均不利于形成较多的 GMP。适宜的灌水处理有利于籽粒积累较多的贮藏蛋白和 GMP,从而改善品质。严重水分亏缺降低籽粒容重、面筋含量、沉降值、面团形成时间、稳定时间和评价值,但一定程度土壤水分亏缺反而促其升高。本试验条件下适度限量灌溉的处理 B 和处理 C 对改善品质有利。

关键词 冬小麦;籽粒;灌溉条件;蛋白质组分;品质
中图分类号: S512 文献标识码: A

Effect of Irrigation Conditions on Protein Composition Accumulation of Grain and Its Quality in Winter Wheat

XU Zhen-Zhu^{1,2} YU Zhen-Wen^{1,*} WANG Dong¹ ZHANG Yong-Li¹

(¹ Key Laboratory Wheat Physiology and Genetic Improvement, Ministry of Agriculture, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018; ² Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, CAS, Beijing 100093, China)

Abstract The effect of irrigation conditions on protein composition accumulation of grain and its quality in winter wheat was studied in proof-rainfall-trough in middle area of Shandong province during 1999—2001. The results showed that the dynamic changes of grain protein content could be outlined by “V” letter curve during grain filling, which reached the highest on the 7th day or the 14th day after flowering, and protein content on Jinan 17 was the highest on the 35th day after flowering, but that in Lumai 21 was on the contrary under severe moisture deficit conditions. The contents of albumin and globulin in the grains increased at early grain filling, but decreased at the end of grain filling with development of soil moisture deficit. Accumulation of storage protein tended to be less under severe soil moisture deficit or over plentiful moisture conditions. The content of glutenin macropolymers (GMP) in the grains increased with developing of grain filling after the 7th day of flowering. Soil moisture deficit could promote GMP accumulate at the 14th day after flowering, but lately GMP accumulation was prohibited under severe deficit of soil moisture or over plentiful soil moisture conditions. Moderate irrigation treatments increased the accumulation of storage protein and GMP in the grains in order to improve grain quality. Grain volume weight, gluten content, sedimentation volume, dough developing time, dough stability time and valorimeter value all decreased under the severe deficit soil moisture conditions although moderate deficit of soil moisture made them rise. Generally, moderately limited irrigation treatments (treatment B and treatment C) improved grain quality under this experimental conditions.

Key words Winter wheat (*Triticum aestivum* L.); Grain; Irrigation conditions; Protein composition; Quality

由于灌溉条件不同引起的土壤水分差异影响小麦叶片生理特性、光合性能和产量的形成,在这方面

*基金项目:国家自然科学基金(39970425)和科技部“无公害优质小麦生产关键技术集成与产业化示范”(2002BA516A12)资助项目。

作者简介:许振柱(1965-),男,山东宁阳人,博士,主要从事旱地生态方面的研究。*通讯作者:于振文。

Received(收稿日期):2002-04-26, Accepted(接受日期):2002-08-22.

前人已进行了大量研究^[1,2],但对品质影响及机制研究较少。小麦的籽粒品质既受遗传控制,又受环境的影响,在小麦各种品质性状与环境的互作中,对籽粒蛋白质含量的研究最多,对面团流变学特性和烘烤品质的研究甚少。一般认为同一品种在不同年份和不同环境条件下其品质有明显差异,基因型与环境有明显的互作效应,这种互作效应主要是由不同气候条件、不同土壤条件及栽培措施所引起^[3]。有人认为,其中降水是影响品质的主要因素^[4]。冬小麦在灌浆期间,土壤干旱提高籽粒的蛋白质含量,改善与面包品质有关的品质性状^[5,6]。研究灌溉条件对籽粒蛋白质组分变化动态及其与籽粒和面团品质关系的目的在于为小麦优质节水栽培提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料和试验设计

本研究于 1999~2001 年在山东农业大学实验农场进行。试验选用普通小麦(*Triticum aestivum* L.) 两个品种:抗旱性较弱的强筋小麦品种济南 17(籽粒容重 770.3 g/L,蛋白质含量 15.16%,湿面筋 36.6%,沉降值 55.4 mL,面团稳定时间 15.7 min)和抗旱性较强的中筋小麦品种鲁麦 21(籽粒容重 778.1 g/L,蛋白质含量 12.61%,湿面筋 29.93%,沉降值 19.74 mL,面团稳定时间 3.7 min)。试验所用土壤养分状况:有机质:13.12 ± 0.47 g/kg;水解氮:77.29 ± 3.21 mg/kg;速效磷:34.23 ± 1.08 mg/kg;速效钾:75.92 ± 2.60 mg/kg。播前池栽的土壤容重及水分常数见表 1。

表 1 播前土壤容重及水分常数

土层深度 Soil layer Depth (mm)	容重 Volume weight (g/cm ³)	田间持水量 Field moisture capacity (%)	凋萎湿度 Wilting moisture (v/v, %)	播前土壤 含水量 Moisture content (v/v, %)	有效水 Available water (mm)
0-20	1.48	31.14	7.20	24.60	34.80
20-40	1.49	32.96	7.51	25.73	36.44
40-60	1.53	35.86	8.24	26.85	37.22
Average	1.50	32.30	7.65	25.73	36.15

防雨池每个栽培池面积为 2.5 m × 2.5 m,深 1.6 m,砖墙,四周抹水泥作防护层,不封底;设滑动式遮雨棚。常年地下水位在 13.0 m 以下。裂区排列,灌水处理为主区,品种为副区,主副区内随机排列,重复 3 次。用水表控制灌水量,设 5 个灌水处理

(表 2)。每池种 8 行,平均行距为 31.25 cm,密度 1.35 × 10⁶ 株/hm²。播前基施纯氮 105 kg/hm², P₂O₅ 172.5 kg/hm², K₂O 108.0 kg/hm²,在拔节期追施纯氮 105 kg/hm²。其余管理措施同大田栽培。

表 2 防雨池栽试验处理灌水量

Table 2 Irrigation amount of experimental treatments in precipitation-proof trough (mm)

处理 Treat- ment	总灌 水量 Total irrigation amount	灌水时期 Irrigation stage						
		底水 Before sowing	冬水 Winter	拔节水 Jointing	孕穗水 Booting	开花水 Flowering	灌浆水 Filling	麦黄水 Yellowing
A	60	60	0	0	0	0	0	0
B	180	60	0	60	60	0	0	0
C	240	60	60	60	60	0	0	0
D	300	60	60	60	60	60	0	0
E	420	60	60	60	60	60	60	60

1.2 氮素和蛋白质含量的测定

参照北京大学生物系生物化学教研室(1979)的方法^[7]。称取样品 0.15 g,加 8 mL 浓 H₂SO₄, 0.3 g 催化剂(K₂SO₄ ◇ CuSO₄ = 3 ◇ 1)进行消化。用瑞士产 BÜCHI 凯氏定氮系统测定。

1.3 蛋白质组分的分离与测定

参照何照范(1985)的方法^[8]。称取样品 0.5 g 置于研钵中,按照清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和麦谷蛋白的顺序提取。清蛋白的提取:加 2 mL 蒸馏水充分研磨后移入离心管,振荡 30 min,离心 15 min 取上清液。连续提取 3 次后并入 50 mL 容量瓶待测。球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白的提取液分别为 10% 的 NaCl、70% 的乙醇和 0.2% 的 NaOH,提取过程同清蛋白的。含量的测定用 Bradford 法^[9]。

1.4 谷蛋白大聚合物(GMP)的含量测定

参照 Weegels(1996)^[10]和孙辉(1998)^[11]的方法。0.05 g 粗粉中加入 1 mL 1.5% 的 SDS 提取液,常温下离心 15 min(15500 × g),弃上清液,残余物加入稀释 1 倍的双胍试剂 10 mL,振荡 2 h 后离心,取上清液测 540 nm 处的吸光值,残余物中氮含量作为 GMP 的近似值。

1.5 湿面筋和干面筋含量的测定

用瑞典产 ZZOO 型洗涤仪(面筋仪)依据国标 GB/T14608-93 进行测定。

1.6 沉降值的测定

用中国农业大学产 BAU-A 型沉降值测定仪依据国标 GB/T5685-1995 进行测定。

1.7 粉质仪参数的测定

用德国产 Brabender 公司生产的粉质仪做面团粉质图,分析计算面团形成时间、稳定时间、吸水率、软化度和评价值等有关面团流变学参数。

2 结果与分析

2.1 对籽粒含水量的影响

试验结果表明(图1),籽粒灌浆期间,籽粒含水量逐渐降低,由开花后7天的57.6%~63.4%降为开花后28天的16.0%~39.9%。土壤水分不足使灌浆后期的籽粒含水量显著降低,济南17的下降幅度较大。灌浆期间灌水减缓了籽粒含水量的下降幅度。

2.2 对籽粒蛋白质积累特性的影响

2.2.1 对籽粒蛋白质积累的影响

由图2表明,籽粒发育过程中蛋白质含量动态变化呈“V”字型曲线。济南17于花后7、14d以处理A和处理B最高,到花后28、35d则以处理C最高,处理A最低。鲁麦21也是于花后7、14d以处理A和处理B最高,到花后28、35d则以处理A最高,处理E最低。可能是济南17对干旱较敏感,花后28d已至完熟,造成了氮素损失^[12]。两品种都表

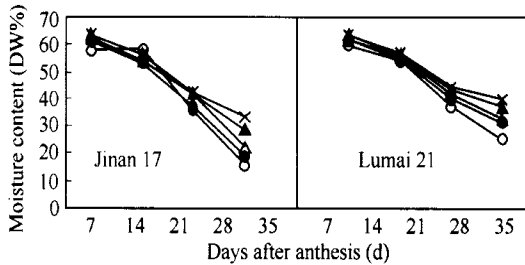


图1 灌溉条件对籽粒含水量的影响

Fig. 1 Effect of irrigation conditions on grain moisture content

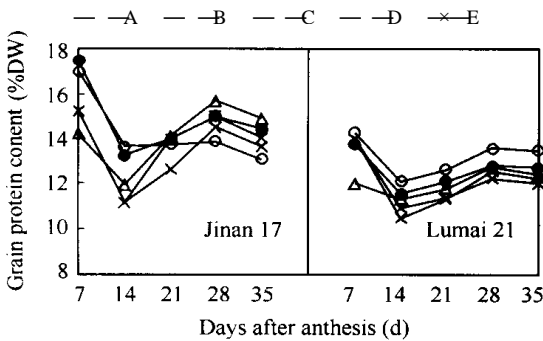


图2 不同灌溉条件下籽粒蛋白质含量的动态变化

Fig. 2 Dynamic changes of the protein content in grains under different irrigation conditions

—A —B —C —D —E

明过渡灌溉对蛋白质积累不利。

2.2.2 对籽粒清蛋白和球蛋白积累的影响

清蛋白和球蛋白主要是一些参与代谢活动的酶类,一般占籽粒蛋白总量20%左右,并与面粉的营养品质关系密切^[13]。研究表明(图3),籽粒清蛋白含量随时间推移而降低。花后7d籽粒清蛋白含量以处理C最低,而其他处理均较高,经方差分析表明差异不显著。济南17从花后14d开始,处理A、B的清蛋白均显著降低,鲁麦21处理A、处理B花后21d清蛋白含量较低。灌浆期间灌水可提高清蛋白含量。

由图4表明,籽粒球蛋白的动态变化趋势与清蛋白的一致。花后7d至21d球蛋白含量以处理C最低,表明干旱或灌溉均有促进此期间的球蛋白含量提高作用,但至花后28d处理A的球蛋白含量显著降低,花后35d各处理的相关不显著。

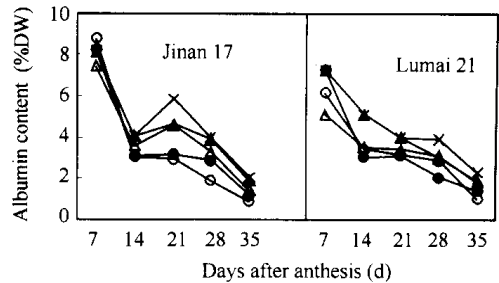


图3 不同灌溉条件下籽粒清蛋白含量的动态变化

Fig. 3 Dynamic changes of the albumin in grains under different irrigation conditions

—A —B —C —D —E

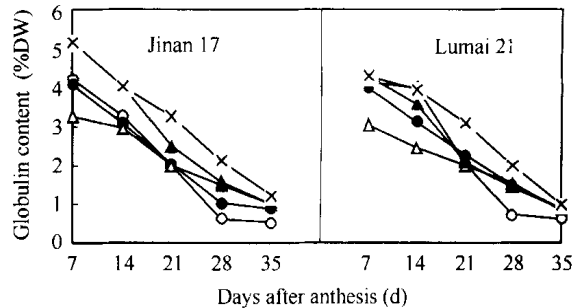


图4 不同灌溉条件下籽粒球蛋白含量的动态变化

Fig. 4 Dynamic changes of the globulin content in grains under different irrigation conditions

—A —B —C —D —E

2.2.3 对籽粒醇溶蛋白和谷蛋白积累的影响

醇溶蛋白、谷蛋白是籽粒中的储藏蛋白,对面粉品质和加工品质影响很大。醇溶蛋白主要决定面团

的延伸性,而谷蛋白主要决定面团的弹性。

研究表明(图 5),花后 7 d 未测出醇溶蛋白的含量,此后随籽粒灌浆进程逐渐增加。济南 17 处理 A 含量最低,其次是处理 B 或处理 E,处理 C 则显著升高。说明土壤缺水或水分过多都不利醇溶蛋白的积累;鲁麦 21 与济南 17 各处理之间有所差异,花后 14 d、21 d 和 28 d 处理 B 的含量反而增加,处理 E 显著减少,直至花后 35 d,处理 B 比处理 C、处理 D 才有所下降,而处理 E 下降显著。

图 6 表明,籽粒中谷蛋白含量随花后籽粒灌浆进程而增加。A、B、C 三个处理一直保持较高的含量。济南 17 处理 A 和 B 在花后 7 d、14 d 含量有所增加,而后则低于处理 C,但差异不显著。鲁麦 21 的处理 A、B 则在花后 7 至 21 d 含量较高,此后土壤缺水的影响一直不明显。灌浆期间灌水(处理 E)显著影响籽粒中谷蛋白含量,济南 17 受影响程度大于鲁麦 21。

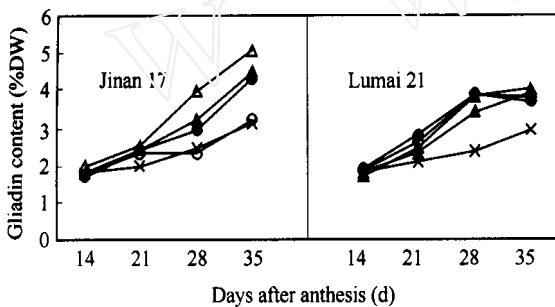


图 5 不同灌溉条件下籽粒醇溶蛋白含量的动态变化
Fig. 5 Dynamic changes of the gliadin content in grains under different irrigation conditions
—A —B —C —D ×E

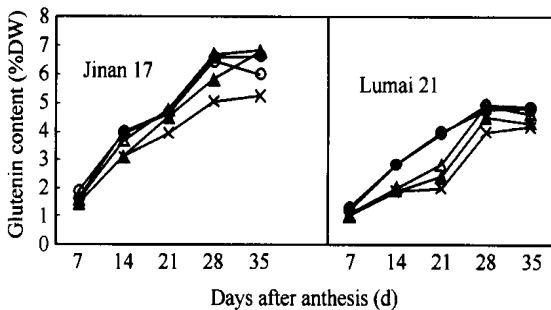


图 6 不同灌溉条件下籽粒谷蛋白含量的动态变化
Fig. 6 Dynamic changes of the glutenin content in grains under different irrigation soil conditions
—A —B —C —D ×E

2.2.4 对谷蛋白大聚合物(GMP)积累的影响
小麦籽粒谷蛋白大聚合体的含量与湿面筋含

量、沉降值、面团形成时间、稳定时间和面包体积的相关性均达极显著水平($r = 0.623^{**}, 0.806^{**}, 0.413^{**}, 0.498^{**}, 0.733^{**}$)。环境条件和栽培措施通过改变籽粒 GMP 含量影响籽粒的品质^[11]。由图 7 可以看出,花后 7 d 未测出 GMP 的含量,此后随灌浆进程而增加。不同水分处理对 GMP 含量的影响在开花后 7~21 d 差异不显著,在此以后,以处理 C、处理 D 的最高,与处理 A、B 相比差异达显著水平。说明土壤水分亏缺或水分过多均不利于形成较多的 GMP。

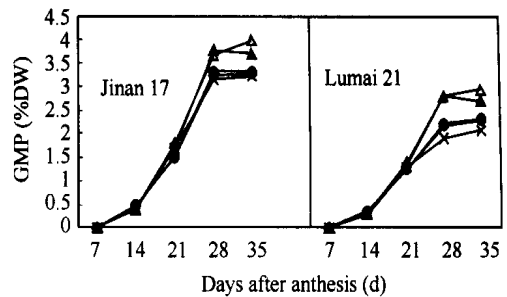


图 7 不同土壤灌溉条件下籽粒谷蛋白大聚合体含量的动态变化
Fig. 7 Dynamic changes of the glutenin macropolymer in grains under different irrigation conditions
—A —B —C —D ×E

2.3 对产量和品质的影响

2.3.1 对产量的影响

防雨池栽的研究结果表明,各水分处理公顷产量从高到低依次是:处理 D、处理 E、处理 C、处理 B 和处理 A,济南 17 的处理 A、B 和处理 D 相比,产量分别降低了 50.6%和 24.0%,鲁麦 21 分别降低了 47.1%和 22.9%。而灌溉过多亦使产量下降(图 8)。

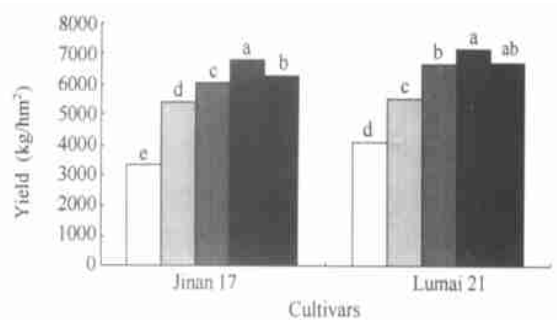


图 8 灌溉条件对产量的影响
Fig. 8 Effects of irrigation conditions on yield
Treatments with the same letters aer not different at 5% level, of probability according to Duncan's Multiple Range Test
□ A □ B □ C □ D □ E

2.3.2 对籽粒容重和面团品质的影响

由表3可以看出,处理A和处理E的籽粒容重显著降低,表明土壤水分不足或灌浆期间土壤水分过多均显著影响籽粒容重,济南17以处理C最高,鲁麦21以处理D最高。出粉率以处理C和D为最高,处理A最低。两个品种均是处理A的湿面筋含量显著减少。济南17处理D和处理C的湿面筋含量明显增多,而鲁麦21以处理B最多,其次是处理C和处理D。灌麦黄水后的处理E和处理C相比也明显降低湿面筋含量。干面筋含量的结果与湿面筋相似。表明适宜的灌溉处理(处理B、C)有利于面筋含量的提高。

表3 土壤水分状况对面团品质的影响

Table 3 Effects of different soil moisture status on flour quality

品种	处理	容重 Test weight (g/L)	出粉率 Flour extraction (%)	湿面筋		沉降值 Sedimentation volume (mL)
				含量 Wet gluten content (%)	含量 Dry gluten content (%)	
济南17 Jinan 17	A	739.0d	52.7d	37.60c	11.95c	39.00c
	B	735.9d	70.6bc	41.05b	13.05ab	42.7ab
	C	770.6a	78.3a	43.08a	13.25ab	44.9a
	D	762.0b	74.7a	43.75a	14.25a	43.8a
	E	752.5c	67.32c	41.25b	12.50b	41.5b
鲁麦21 Lumai 21	A	774.6c	78.3b	34.53c	11.55b	35.7b
	B	778.2b	83.5a	39.70a	13.00a	39.8a
	C	779.8b	89.6a	39.70a	12.80a	38.9a
	D	786.8a	84.9a	38.40ab	12.95a	38.5a
	E	773.9c	79.2b	37.65b	12.10ab	36.4b

表中数字后的有相同的字母表示在0.05水平上不显著。

Figures with the same capital letters are not different at the 0.05 level, of probability according to Duncan's Multiple Range Test.

沉降值的测定结果表明,品种济南17的从大到小依次是:处理C>处理D>处理B>处理E>处理A,其中处理A和处理C相比差异达显著水平,处理E和处理C、处理B相比也达显著水平。品种鲁麦21从大到小依次是:处理B>处理C>处理D>处理E>处理A,其中处理B、处理C、处理D相比差异未达显著水平,而处理A、处理E分别和其他三处理相比差异达显著水平。以上结果表明,土壤水分过度亏缺(如处理A)和灌浆期土壤水分过多(如处理E)均降低面粉的沉降值,不利于提高品质。

2.3.3 对粉质仪参数的影响

面粉吸水率是指在加水揉面过程中,使面团达到标准稠度时所需的加水量。吸水率不仅与蛋白质含量呈显著正相关,而且还与面团的粘弹性有一定

的关系^[16]。表4表明,土壤水分处理之间以处理A和处理E较低,但未达显著水平。面团稳定时间是指从谱带进入500B.U到离开500B.U的时间。稳定时间短,反映面团形成后不耐搅揉,面筋网络易破坏。研究表明,处理B和处理C显著高于其他处理,济南17分别比处理E高2.9 min和2.5 min,鲁麦21则分别高4.8 min和4.3 min。面团形成时间和稳定时间具有相同的变化趋势。软化度是指达峰值后12 min时谱带中线自500B.U下降的距离,其值大时意味面筋变弱变软的程度大。结果表明,处理B和C的软化度显著减少,说明土壤水分严重亏缺或开花后灌水均不利于形成较强的面筋。评价值是粉质仪各指标的综合反映。研究表明,处理A和E的评价值明显降低,鲁麦21的处理D也显著变小。两个品种评价值各处理由大到小依次是:处理B>处理C>处理A>处理D>处理E。处理B的评价值比处理E的高24.6%,说明花后灌水明显地降低面团质量,进而影响到面团的品质。适度减少灌溉定额有利于改善品质。

表4 不同土壤水分状况对粉质仪参数的影响

Table 4 Effects of different soil moisture status on farrinograph parameters

品种	处理	吸水率 Water absorption (%)	面团形	面团稳	软化度 Degree of softening (B.U.)	评价值 Valorimeter value
			成时间 Dough developing time (min)	定时间 Dough stability Time (min)		
济南17 Jinan 17	A	65.7	13.0a	12.8c	32.2a	70.6b
	B	65.9	13.2a	16.0a	21.3b	74.5a
	C	65.8	13.2a	15.6a	24.6b	74.4a
	D	68.0	9.6a	13.6bc	30.4a	67.2bc
	E	64.7	5.6b	13.1bc	35.7a	65.6c
鲁麦21 Lumai 21	A	57.4	3.6b	3.6bc	56.6b	50.4b
	B	58.6	4.8a	7.4a	46.5c	61.2a
	C	58.6	4.6a	6.9a	40.6c	59.4a
	D	59.9	3.1b	3.0bc	60.5a	45.0c
	E	57.3	3.0b	2.6c	66.4a	43.2c

3 讨论

小麦籽粒中的蛋白质按其溶解度及其提取方法不同,可分为清蛋白、球蛋白、麦谷蛋白和醇溶蛋白^[13]。醇溶蛋白和麦谷蛋白是贮藏蛋白。土壤水分亏缺有利于低蛋白小麦品种贮藏蛋白含量提高,而不利于高蛋白品种蛋白质含量提高。但在各处理平均水平上则是济南17的贮藏蛋白尤其是谷蛋白高于鲁麦21的。这说明了遗传因素和环境因素的

共同影响^[3,14]。虽然许多研究者证明,土壤水分亏缺时小麦籽粒中蛋白质含量提高^[5,14],但本研究结果表明在土壤水分亏缺严重的极端条件下(处理 A)表现出品种间的差异,济南 17 籽粒蛋白质含量在受到严重水分亏缺影响时最低,而鲁麦 21 则是显著提高。分析本试验的结果,济南 17 具有早衰现象,土壤严重干旱更加剧了衰老的进程,严重影响了包括籽粒中蛋白质代谢在内的生理过程,过早地超越了其对干旱适应的生理极限,引起氮素的损失^[12,15],从而造成了以籽粒含氮量换算出的蛋白质含量的降低。而灌水过多(灌浆后期)亦造成了蛋白质含量的下降,从反面说明了土壤适度干旱提高蛋白质含量的可能性是成立的,而在极端干旱或灌水过多两个条件下则表现出了不利,尤其对于强筋不抗旱的早衰品种济南 17 更是如此。

面粉面筋含量和沉降值均以严重土壤水分亏缺最低,与有的作者认为灌水次数增加降低面筋含量、沉降值的结论不一致^[6]。联系到土壤水分的亏缺使植株的氮素利用率降低,影响籽粒蛋白质的积累和品质改善^[16,17]。在本试验条件下,只浇了底水的处理 A,由于土壤水分亏缺严重,影响了籽粒蛋白质各组分,尤其是与品质密切相关的储藏蛋白和谷蛋白大聚体的积累过程,从而严重影响面筋含量和沉淀值。但灌浆后期灌水也促使面筋含量和沉降值下降。表明了后期灌水不利于与形成较好的品质,适度减少灌溉定额可改善品质。

通过揭示灌溉条件对小麦蛋白质组分积累动态及其品质影响的内在机制,可以认为在麦田优质节水栽培实践中,小麦灌浆期间的土壤水分对蛋白质品质的影响并不是越低越好,含量过低时亦不利于蛋白质各组分的积累和合理配比;后期水分过多亦限制了蛋白质尤其是与品质密切相关的储藏蛋白和谷蛋白大聚体的积累;适度减少灌溉定额可改善品质。应根据人们对产量和品质的权衡,结合分析特定品种、特定栽培和环境条件等而确定合理的节水灌溉方案,以达到提高水分利用率和改善品质的目的。

References

- [1] Yu Z-W(于振文), Yue S-S(岳寿松), Shen C-G(沈成国), Zhang W(张炜). Effects of low irrigation norm in high yield field on senescence of flag leaves of winter wheat. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 1995, 21(4): 503—508
- [2] Xu Z-Z(许振柱), Yu Z-W(于振文), Dong Q-Y(董庆裕), Qi X-H(齐新华), Yu S-L(余松烈). Effect of water on cell membrane and the ultrastructure of flag leaf cell in winter wheat. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 1997, 23(3): 370—375
- [3] Zhu J-B(朱金宝), Liu G-T(刘广田), Zhang S-Z(张树榛). Genotype and environment effect on baking quality of wheat. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 1995, 21(6): 679—684
- [4] Farrand E A. Potential milling and baking value of homegrown wheat. *Journal National Institute of Agricultural Botany*, 1972, 12:464—470
- [5] Day A D, Barmore M A. Effects of soil-moisture stress on the yield and quality of flour from wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy Journal*, 1971, 63:115—116
- [6] Wang L-Q(王立秋), Jin Z-Z(靳占忠), Cao J-S(曹敬山), Wang Z-Y(王占宇). Effect of water and fertilizer factors on grain quality and bread quality of wheat. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 1997, 30(3): 67—73
- [7] Biological chemistry teaching study office of biological department of Peking university(北京大学生物系生物化学教研室). Introduction to the Experiments of Biological Chemistry(生物化学实验指导). Beijing: High Education Press, 1979. 87—92. (in Chinese)
- [8] He Z-F(何照范). Content of amylose, amylopectin and starch using a double-wavelength spectrum method. In: Quality of Grains and Oil and Its Analysis Technology (粮油籽粒品质及其分析技术). Beijing: China Agriculture Press, 1985. 290—294. (in Chinese)
- [9] Bradford M M. A rapid sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principal of protein-dye binding. *Anal Biochem*, 1976, 248—254
- [10] Weegels P I, Pijpekamp A M, Van de GA. Depolymerisation and re-polymerisation of wheat glutenin during macropolymer content and quality Parameters. *J Cereal Sci*, 1996, 23: 103—111
- [11] Sun H(孙辉), Yao D-N(姚大年), Li B-Y(李宝元), Liu G-T(刘广田), Zhang S-Z(张树榛). Correlation between content of glutenin macropolymer(GMP) in wheat and baking quality. *Journal of Chinese Cereals and Oils Association* (中国粮油学报), 1998, 13(6): 13—16
- [12] Wang C-H(王朝辉), Tian X-H(田霄鸿), Li S-X(李生秀). Nitrogen losses from winter wheat plant by NH₃ volatilization in late growing stage. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2001, 27(1): 1—6
- [13] Tian J-C(田纪春). Winter Wheat of High Quality (优质小麦). Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1995. 108-171; 13—63. (in Chinese)
- [14] Li Z-Z(李宗智). Improvement of Winter Wheat. In: Lin Z-J(林作楫)(ed). Food Process and Improvement of Winter Wheat(食品加工与小麦品质改良). Beijing: Chinese Agricultural Press, 1993. 389—406. (in Chinese)
- [15] Harper L A, Sharpe R R, Langdale G W, Giddens J E. Nitrogen cycling in a wheat crop: Soil plant and aerial nitrogen transport. *Agronomy Journal*, 1987, 79:965—973
- [16] Akiko S, Miwako K, Shingo N, Mitsuru W. The effect of timing of nitrogen dressing on the baking quality of winter wheat. *Jpn J Crop Sci*, 1999, 68(2): 217—223
- [17] Jenner C F, Ugalde T D, Aspinall D. The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. *Aust J Plant Physiol*, 1991, 18: 211—226