灌水量和时期对宽幅精播冬小麦产量及品质特性的影响

韩惠芳[1,2]，赵丹丹[3]，沈加印[3]，郎 坤[3]，刘泉汝[3]，李全起[1,3※]

（1. 农业部作物需水与调控重点开放实验室，新乡 453003； 2. 山东农业大学农学院/作物生物学国家重点实验室，泰安 271018； 3. 山东农业大学水利土木工程学院，泰安 271018）

摘 要：为探讨中国北方地区宽幅精播麦田的节水灌溉模式，2010－2011 年，在山东农业大学农学试验站，以济麦 22 为试验材料，采用宽幅精播和常规种植两种种植模式，每种种植模式设 3 种灌溉处理，研究了宽幅精播和灌溉对籽粒产量、籽粒蛋白质含量以及相关主要品质特性的影响。结果表明，宽幅精播显著提高冬小麦产量，增产的原因在于显著增加了产量构成因素中的穗数，且以灌拔节水和抽穗水条件下增产潜力最大。常规播种提高了籽粒蛋白质含量，但籽粒蛋白质产量仍以宽幅精播最高。宽幅精播灌两水处理提高了湿面筋含量和面筋指数。综合考虑冬小麦产量和品质，以宽幅精播条件下于拔节期和抽穗期各灌溉 60 mm 为宜。该研究可为中国北方冬小麦的节水灌溉及高产优质栽培提供理论依据和技术支持。

关键词：灌溉，水分，试验，宽幅精播，冬小麦，产量，品质
doi：10.3969/j.issn.1002-6819.2013.14.014
中图分类号：X705 **文献标志码**：A **文章编号**：1002-6819(2013)-14-0109-06

韩惠芳，赵丹丹，沈加印，等. 灌水量和时期对宽幅精播冬小麦产量及品质特性的影响[J]. 农业工程学报，2013，29(14)：109－114.
Han Huifang, Zhao Dandan, Shen Jiayin, et al. Effect of irrigation amount and stage on yield and quality of winter wheat under wide-precision planting pattern[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(14): 109－114. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

冬小麦产量高低及品质好坏是由基因型和环境因素共同作用的结果[1]。在一定的生态条件下，栽培因素对冬小麦产量和品质具有显著影响[2]。为了提高冬小麦产量，山东农业大学余松烈院士提出了一种新型种植模式—宽幅精播。该技术是在精量、半精量播种技术的基础上，以扩播幅、增行距、促匀播为核心，改密集条播为宽幅精播的小麦高产栽培技术。该技术将播幅由 3.0～5.0 cm 改为 6.0～10.0 cm，将行距增加到 26.0～28.0 cm，可以实现播量相对准确，籽粒分布均匀。应用该模式，2010 年在中国北方冬麦区获得了大面积单产的最高纪录[3]。同时，灌溉在栽培因素中占据重要地位[4]。有研究指出，作为主要生态因子的水是影响小麦产量和蛋白品质最活跃的因素之一，通常降水量或土壤水分含量与籽粒蛋白质含量呈负相关[5]。而小麦的营养品质和加工品质亦受不同生育时期灌水的影响[5-6]。由于品种特性和生态条件的差异，其结果不尽一致[7-8]。但有关冬小麦高产节水优质三者之间的协同研究鲜见报道。

济麦 22 属中筋小麦，适合做馒头[9]。影响小麦粉馒头加工适宜性的主要品质指标为蛋白质、湿面筋含量、面筋指数及沉降值[10]。因此，本文以在中国北方创造出大面积单产最高纪录的宽幅精播麦田为对象，系统研究了种植模式和灌溉对冬小麦产量、营养品质和加工品质等的影响，旨在为中国北方冬小麦高产、优质和节水栽培技术提供理论依据和技术支持。

收稿日期：2012-08-18 修订日期：2013-07-01
基金项目：国家自然科学基金（31101114）；山东省科技发展计划项目（2011GNC21101）；山东省优秀中青年科学家科研奖励基金（BS2009NY008）；农业部作物需水与调控重点开放实验室开放课题资助项目（CWRR201003）
作者简介：韩惠芳（1975－），女，山西忻州人，副教授，博士生，主要从事农业资源高效利用研究。新乡 农业部作物需水与调控重点开放实验室，453003。
※通信作者：李全起（1976－），山东昌乐人，博士，副教授，主要从事农业水土工程研究。新乡 农业部作物需水与调控重点开放实验室，453003。Email：quanqili@sdau.edu.cn

1 材料与方法

1.1 试验区概况

本试验于 2010－2011 年在山东农业大学农学实验站（36°10′19″N，117°9′03″E）的测坑内进行，每个测坑的面积均为 3.0 m×3.0 m，深 1.5 m，四周用水泥抹面，下不封底。试验点属温带大陆性半季风气候区，年降水变率大，多年平均降水量 697.0 mm，其中 70%集中在 7－9 月份的夏玉米生

长期间；10 月至翌年 6 月冬小麦生长期间，平均降水量仅 129.8 mm，远远满足不了冬小麦的正常需水要求。为了获得高产和稳产，冬小麦生育期间必须进行补充灌溉。测坑内 0～20 cm 土层碱解氮、速效钾和速效磷含量分别为 108.1、92.4 和 16.1 mg/kg。本试验在自然条件下进行，冬小麦生育期间共降水 172.2 mm。

1.2 试验设计

供试品种为济麦 22。每个测坑底施磷酸二铵 234.8 g，尿素 345.3 g 和硫酸钾 189.0 g，拔节期每个测坑追施尿素 345.3 g，于 2010 年 10 月 6 日按 9.4 g/m^2 进行人工点播。

试验采用裂区设计，主区为 3 种灌溉处理，分别为整个生育期不灌水（I0）、拔节期灌溉 60.0 mm（I1）和拔节期与抽穗期各灌溉 60.0 mm（I2）；副区为两种种植模式，即宽幅精播（W）和常规种植（C）。拔节水和抽穗水的灌溉时间分别为 2011 年 3 月 31 日和 5 月 4 日。灌溉时，用水表严格控制灌水量。每个处理 3 次重复，共 18 个测坑，随机区组排列。

1.3 产量和品质特性测定

收获时，每个测坑取除边三行外生长均匀一致且相临的 1.8 m^2 测产并考种。籽粒风干储存 1 月后进行品质化验分析。首先用 Perten7200 近红外分析仪对小麦籽粒蛋白含量进行测定。小麦近红外校准曲线由中国农业部谷物品质监督检验测试中心（泰安）建模并校正，结果由系统软件自动分析。蛋白质产量按小麦籽粒产量和籽粒蛋白质含量的乘积进行计算，同时进行以下品质特性的国际化学测定：

制粉采用德国Brabender公司生产的 BUHLER 磨，按 NY/T1094.4-2006 实验制粉；白度用 WSR-Ⅳ白度仪按 GB/T 22427.6-2008 法进行测定；湿面筋含量按手洗法（GB/T5506-1985）进行测定；面筋指数按 LS/T 6102-1995 方法进行测定；降落值用 Perten 降落值仪，按 GB/T10361-1989 谷物降落值测定法测定。最后用德国 Branbender 公司生产的粉质仪做粉质图，分析计算吸水率、面团形成时间和稳定时间等面团流变学参数。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS（Data Processing System）统计分析系统进行数据处理和统计分析，用 Duncan’s 进行处理间差异性检验（P=0.05）。

2 结果与分析

2.1 宽幅精播和灌溉对冬小麦籽粒产量及产量构成因素的影响

不同种植方式和不同灌溉组合对籽粒产量有显著影响（表 1）。可以看出，在冬小麦生育期间灌溉量相同的条件下，W2 的产量显著高于 C2。无论在哪种种植模式下，籽粒产量均随灌溉量和灌溉次数的增加而增加，但只有在宽幅精播条件下，W2 的产量显著高于 W0。因此，在灌拔节水和抽穗水条件下，和常规种植相比，宽幅精播更容易发挥出增产潜力。

宽幅精播较常规种植方式显著提高了冬小麦产量（表 1），产量提高的原因在于穗数的显著增加。和不灌溉处理相比，灌两水处理显著降低了穗粒数，但千粒重显著增加，导致灌两水处理的籽粒产量显著高于不灌溉处理。

表 1 宽幅精播和灌溉对冬小麦产量及产量构成因素的影响

Table 1 Effects of wide-precision planting and irrigation on grain yield and yield components of winter wheat

处理 Treatment	穗数 Number of spikes /(spikes m^{-2})	穗粒数 Kernel numbers per spike /(kernel spike^{-1})	千粒重 1000-grain weight/g	籽粒产量 Grain yield/(g·m^{-2})
W0	738.3ab	30.6ab	45.0b	808.8b
W1	697.5abc	31.6a	46.6ab	876.4ab
W2	760.6a	28.0c	49.4a	917.2a
C0	668.3bc	29.0bc	45.4b	804.1b
C1	635.6c	30.7ab	49.4a	815.0b
C2	704.2abc	27.9c	49.7a	823.8b
W	732.1a	30.1a	47.6a	867.4a
C	669.4b	29.2a	47.0a	811.0b
I0	703.3ab	29.8b	45.2b	806.4b
I1	666.5b	31.2a	47.2b	845.7ab
I2	732.4a	28.0c	49.6a	865.5a

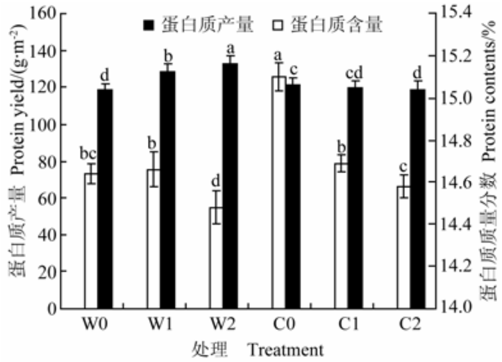
注：W 和 C 分别代表宽幅精播和常规种植两种种植模式，I 代表灌溉处理。数字 0、1 和 2 分别表示冬小麦整个生育期内不灌水、拔节期灌溉 60.0 mm 和拔节期与抽穗期各灌溉 60.0 mm。数据后不同字母表示同一生长季内处理间差异达 5%显著水平。下同。

Note: W and C represent wide-precision planting and conventional planting, and I represent irrigation treatment. The letters 0, 1, and 2 followed by W, C, and I represent non-irrigation during the winter wheat growing season, irrigated 60 mm only at jointing stage, and irrigated 60 mm each at jointing and heading stages, respectively. Within a column, values followed by different letters differ significantly among treatments. The same below.

2.2 宽幅精播和灌溉对冬小麦籽粒蛋白质产量和含量的影响

由图 1 可知，无论在哪种种植模式下，和不灌溉处理相比，灌溉显著提高了籽粒蛋白质产量。无论灌两水处理还是灌一水处理，宽幅精播的籽粒蛋白质产量均显著高于常规种植模式。常规种植中，和不灌溉

处理相比，灌两水处理和灌一水处理的籽粒蛋白质含量均显著降低；而宽幅精播种植模式中，灌两水处理的籽粒蛋白质含量显著低于不灌溉处理。



注：图中不同字母表示不同处理之间差异显著。下同。
Note: Different letters indicate the significant differences between different treatments. The same as below.

图 1　宽幅精播和灌溉对冬小麦籽粒蛋白质产量和含量的影响
Fig.1　Effects of wide-precision planting and irrigation on yields and protein contents of winter wheat

2.3　宽幅精播和灌溉对冬小麦面筋特性及沉降值的影响

在小麦粉品质中，面筋含量是最重要的指标之一，面筋含量与馒头的体积呈线性关系[10]。面筋指数反应出蛋白质中谷蛋白的含量，面筋指数越大，蛋白质中的谷蛋白含量也就越高，二者呈极显著正相关关系。由图 2 可以看出，宽幅精播种植模式中，灌两水处理的面筋指数显著高于不灌溉处理和灌一水处理，且灌两水处理的湿面筋含量显著高于不灌溉处理；而常规种植则相反，灌拔节水和抽穗水后湿面筋含量和面筋指数均显著低于不灌溉处理和灌一水处理。

沉降值与馒头外观、结构、弹韧性和总分呈负相关关系[11]。由图 3 可以看出，宽幅精播种植模式中，灌两水处理的沉降值显著低于不灌溉处理；而常规种植模式中，灌两水处理的沉降值显著低于不灌溉处理和灌一水处理。因此，在亏缺灌溉条件下，宽幅精播种植模式有利于改善冬小麦籽粒的加工品质。

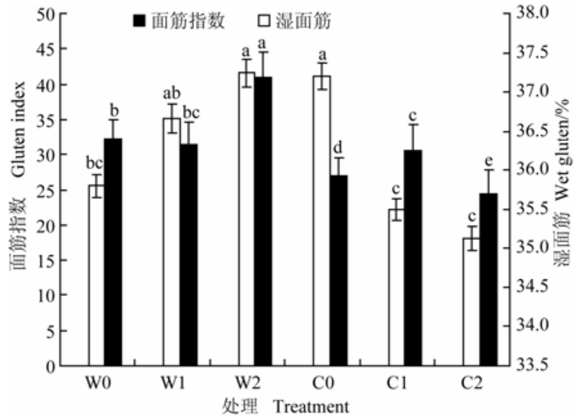


图 2　宽幅精播和灌溉对冬小麦面筋指数和湿面筋的影响
Fig.2　Effects of wide-precision and irrigation on gluten index and wet gluten content of winter wheat

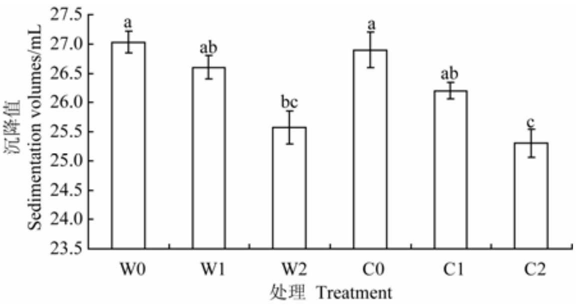


图 3　宽幅精播和灌溉对冬小麦沉降值的影响
Fig.3　Effects of wide-precision planting and irrigation on sedimentation volumes of winter wheat

2.4　宽幅精播和灌溉对冬小麦粉质特性的影响

如表 2 所示，在常规种植条件下，随灌溉量增加，出粉率显著降低。吸水率是使面团最大稠度处于 500 FU 时所需的加水量占 14%湿基面粉质量的百分数，面粉的筋度越高，吸水率越高。宽幅精播条件下，W1 显著提高吸水率，其次为 W0，最低的为 W2。面团形成时间指从加水到粉质曲线达到和保持最大稠度所需的时间。面团稳定时间主要用来表示面团耐受机械搅拌的能力，稳定时间越长，说明面团柔性越好，但中筋类面粉的稳定时间不宜过长[12]。和常规种植相比，宽幅精播显著延长了灌溉条件下的面团稳定时间，且以只灌拔节水处理的面团稳定时间最长。

表 2　宽幅精播和灌溉对冬小麦粉质特性的影响
Table 2　Effects of wide-precision planting and irrigation on farinogram parameter of winter wheat

处理 Treatment	出粉率 Flour extraction /%	白度 Flour whiteness /%	粉质仪参数 Farinogram parameter		
			吸水率 Water absorption	形成时间 Dough development time /min	稳定时间 Dough stability time /min
W0	71.17 a	76.23a	64.93b	2.90a	2.60b
W1	71.23a	76.37a	65.43a	2.97a	3.07a
W2	71.3 a	75.93a	64.53c	2.90a	2.67b
C0	71.23 a	75.63a	64.67bc	2.87a	2.5bc
C1	70.57b	76.67a	64.63c	3.30a	2.67b
C2	69.93c	76.23a	64.53c	2.87a	2.43c

3 讨 论

在冬小麦整个生育期,有效分蘖形成的有效穗数、扬花期形成的有效穗粒数和灌浆期形成的千粒重，均随环境条件作出调整和适应，最后形成不同的籽粒产量[13]。小麦作出随机应变的能力不仅决定于品种本身遗传特性,还受制于因种植模式改变的农田微环境[14]。种植模式是生产中人工可以控制的因素，对产量和品质有较大影响[15]，所以合理的种植模式是高产优质的基础。本研究结果表明，采用宽幅精播后，小麦产量较常规种植模式显著提高。两种种植模式间，产量构成因素中差异达显著水平的是穗数，而穗粒数和千粒重均未达到显著水平。且在相同灌溉条件下，和常规种植相比，宽幅精播更容易发挥出增产潜力。尽管常规播种的籽粒蛋白质含量大于宽幅精播，但由于籽粒产量的降低幅度大，最终的籽粒蛋白质产量仍然以宽幅精播最高。因此，进一步说明了小麦自身调节能力受环境条件影响，而环境条件又受种植模式影响的这一特点，表明冬小麦种植模式对籽粒产量和品质的重要性。

有研究认为，由基因型所决定的蛋白质含量与产量间呈负相关[16]，但在不同的栽培条件下两者可能出现正相关。赵广才等认为[17]，水分是影响小麦产量和品质的重要因素之一，适宜的土壤水分既可提高小麦产量，又有利于改善籽粒品质。本研究表明，3 种灌溉水平下，产量构成因素中灌两水降低了穗粒数，但由于对穗数和千粒重的增加幅度大，最终灌两水处理的籽粒产量显著高于不灌水处理。宽幅精播种植模式中，以整个生育期灌一次拔节水最有利于提高籽粒蛋白质含量、吸水率和面团稳定时间，灌拔节水和抽穗水有利于提高面筋指数；而常规种植模式则相反，随灌溉量增加，籽粒蛋白质含量、湿面筋含量和沉降值等指标均降低，表现出“稀释效应”。因此，在合理的亏缺灌溉条件下，冬小麦采用宽幅精播种植模式，可实现节水优质高产的目的。

冬小麦宽幅精播种植模式可提高籽粒产量和改善品质，可能与以下原因有关：首先，宽幅精播种植优化了冬小麦冠层结构，可导致叶面积指数的垂直分布发生变化，从而截获和转化更多的光合有效辐射，诱导更多的光合底物和能量参与产量和蛋白质的形成，有利于协调高产和优质之间的矛盾。其次，研究表明[18]，在冬小麦生育后期保持适当的干旱胁迫将有利于改善籽粒品质。本研究中发现，宽幅精播麦田的叶面积指数高于常规种植麦田，这必然增加了农田的叶面蒸腾量，而麦田的耗水量中70%为叶面蒸腾量[19]。因此，在降水和灌溉量相同的情况下，宽幅精播麦田后期的土壤水分含量必然会降低，将有助于光合产物向籽粒的转移，从而提高产量和改善品质。但是，以上各方面还有待于进一步研究。

4 结 论

1）宽幅精播显著提高冬小麦产量，增产的原因在于产量构成因素中穗数的显著增加。

2）尽管常规种植的籽粒蛋白质含量显著大于宽幅精播，但由于其籽粒产量降低，导致宽幅精播种植模式的籽粒蛋白质产量显著提高。

3）宽幅精播种植模式中，以拔节期和抽穗期各灌溉 60 mm 最有利于提高湿面筋含量和面筋指数，从而有利于改善济麦 22 面粉的馒头加工品质。综合考虑产量和品质，以宽幅精播条件下于拔节期和抽穗期各灌溉 60 mm 为宜。

[参 考 文 献]

[1] 崔昊，石祖梁，蔡剑，等. 大气 CO_2 浓度和氮肥水平对小麦籽粒产量和品质的影响[J]. 应用生态学报，2011，22(4)：979－984.
Cui Hao, Shi Zuliang, Cai Jian, et al. Effects of atmospheric CO_2 concentration enhancement and nitrogen application rate on wheat grain yield and quality[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(4): 979－984. (in Chinese with English abstract)

[2] 赵广才，常旭虹，杨玉双，等. 追氮量对不同品质类型小麦产量和品质的调节效应[J]. 植物营养与肥料学报，2010，16(4)：859－865.
Zhao Guangcai, Chang Xuhong, Yang Yushuang, et al. Grain yield and quality responding to the nitrogen fertilizer operation in different quality type wheat[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(4): 859－865. (in Chinese with English abstract)

[3] 余松烈，于振文，董庆裕，等. 小麦亩产 789.9 kg 高产栽培技术思路[J]. 山东农业科学，2010(4)：11－12.
Yu Songlie, Yu Zhenwen, Dong Qingyu, et al. Theory of cultivation techniques for wheat with yield of 789.9 kg per mu[J]. Shandong Agricultural Science, 2010, (4): 11－12. (in Chinese with English abstract)

[4] Li Quanqi, Zhou Xunbo, Chen Yuhai, et al. Water consumption characteristics of winter wheat grown using different planting patterns and deficit irrigation regime[J]. Agricultural Water Management, 2012, 105: 8－12.

[5] 韩惠芳，李全起，董宝娣，等. 灌溉频次和时期对冬小麦籽粒产量及品质特性的影响[J]. 生态学报，2010，30(6)：1548－1555.
Han Huifang, Li Quanqi, Dong Baodi, et al. Effects of irrigation frequency and stages on grain yield and quality characteristics of winter wheat[J]. Acta Ecologica Sinica,

2010, 30(6): 1548－1555. (in Chinese with English abstract)

[6] 藏金萍，李姗姗，常旭虹，等. 灌水时期对强筋小麦产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报，2012，32(2)：293－296.
Zang Jinping, Li Shanshan, Chang Xuhong, et al. Effects of irrigation stages on quality and yield in strong gluten wheat[J]. Journal of Triticeae Crop, 2012, 32(2): 293－296. (in Chinese with English abstract)

[7] 姚凤娟，贺明荣，李飞，等. 花后灌水次数对强筋小麦籽粒产量和品质的影响[J]. 应用生态学报，2008，19(12)：2627－2631.
Yao Fengjuan, He Mingrong, Li Fei, et al. Effects of post-anthesis irrigation frequency on the grain quality of strong gluten winter wheat cultivars[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(12): 2627－2631. (in Chinese with English abstract)

[8] 刘祖贵，孙景生，张寄阳，等. 不同时期干旱对强筋小麦产量与品质特性的影响[J]. 麦类作物学报，2008，28(5)：877－882.
Wang Zugui, Sun Jingsheng, Zhang Jiyang, et al. Effect of drought at different growing stages on yield quality characteristics of strong-gluten wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2008, 28(5): 877－882. (in Chinese with English abstract)

[9] 刘爱峰，程敦公，李豪圣，等. 高产小麦品种‘济麦 22’配粉效应及馒头制作品质研究[J]. 中国农学通报，2010，26(19)：52－57.
Liu Aifeng, Cheng Dungong, Li Haosheng, et al. Blending flour quality sharacteristic and steamed-bread quality of winter wheat jimai22 with high yield[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(19): 52－57. (in Chinese with English abstract)

[10] 齐兵建. 小麦粉品质与北方优质馒头品质关系的研究[J]. 中国粮油学报，2004，19(3)：232－236.
Qi Bingjian. Study on the Relationship between wheat flour quality and northern-style steamed bread quality[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2004, 19(3): 232－236. (in Chinese with English abstract)

[11] 范玉顶，李斯深，孙海艳，等. 小麦品质性状与北方手工馒头品质指标关系的研究[J]. 中国粮油学报，2005，20(2)：16－20，25.
Fan Yuding, Li Sishen, Sun Haiyan, et al. Relationship between wheat quality and Chinese northern style hand-made steamed bread quality[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2005, 20(2): 16－20, 25. (in Chinese with English abstract)

[12] 袁建，鞠兴荣，汪海峰，等. 小麦粉品质与馒头加工质量的相关性研究[J]. 食品科学，2005，26(12)：57－61.
Yuan Jian, Ju Xingrong, Wang Haifeng, et al. Relationship of wheat flour quality with Chinese steamed bread quality[J]. Food Science, 2005, 26(12): 57－61. (in Chinese with English abstract)

[13] 李侠，黄灵丹，廖允成，等. 沼肥对麦套棉群体中小麦产量构成因素及水分利用效率的影响[J]. 西北农业学报，2010，19(6)：64－68.
Li Xia, Huang Lingdan, Liao Yuncheng, et al. Effect of biogas manure on wheat yield components and water use efficiency of wheat-cotton double cropping colony[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2010, 19(6): 64－68. (in Chinese with English abstract)

[14] 孙淑娟，周勋波，陈雨海，等. 冬小麦种群不同分布方式对农田小气候及产量的影响[J]. 农业工程学报，2008，24(增刊 2)：27－31.
Sun Shujuan, Zhou Xunbo, Chen Yuhai, et al. Effects of different distribution patterns of winter wheat’s population on farmland micro-climate and yield[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(Supp.2): 28－31. (in Chinese with English abstract)

[15] Li Quanqi, Chen Yuhai, Liu Mengyu, et al. Effect of irrigation and planting patterns on radiation use efficiency and yield of winter wheat in North China[J]. Agricultural Water Management, 2008, 95: 469－476.

[16] 郭翠花，高志强，苗果园. 花后遮阴对小麦旗叶光合特性及籽粒产量和品质的影响[J]. 作物学报，2010，36(4)：673－679.
Guo Cuihuang, Gao Zhiqing, Miao Guoyuan. Effect of shading at post flowering on photosynthetic characteristics of flag leaf and response of gain yield and quality to shading in wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(4): 673－679. (in Chinese with English abstract)

[17] 赵广才，万富世，常旭虹，等. 灌水对强筋小麦籽粒产量和蛋白质含量及其稳定性的影响[J]. 作物学报，2008，34(7)：1247－1252.
Zhao Guangcai, Wan Fushi, Chang Xuhong, et al. Effects of irrigation on yield and protein content of grains and their stability in strong-gluten wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(7): 1247－1252. (in Chinese with English abstract)

[18] 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[J]. 植物生态学报，2006，30(1)：71－77.
Fan Xuemei, Jiang Dong, Dai Tingbo, et al. Effects of nitrogen on grain yield and quality in wheat grown under drought or waterlogging stress from anthesis to maturity[J]. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(1): 71－77. (in Chinese with English abstract)

[19] Li Quanqi, Chen Yuhai, Liu Mengyu, et al. Effects of irrigation and straw mulching on micro-climate characteristics and water use efficiency of winter wheat in north China[J]. Plant Production Science, 2008, 11(2): 161－179.

Effect of irrigation amount and stage on yield and quality of winter wheat under wide-precision planting pattern

Han Huifang[1,2], Zhao Dandan[3], Shen Jiayin[3], Lang Kun[3], Liu Quanru[3], Li Quanqi[1,3※]

(1. *Key Lab for Crop Water Requirement and Regulation of Ministry of Agriculture, Xinxiang* 453003*, China;* 2. *State Key Laboratory of Crop Biology, Key Laboratory of Crop Water Physiology and Drought-Tolerance Germplasm Improvement of Ministry of Agriculture, Shandong Agricultural University, Tai'an* 271018*, China;* 3. *College of Water Conservancy & Civil Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an* 271018*, China*)

Abstract: The limited water resources in the North China Plain have compelled the farming community to implement water-saving measures. In order to discuss saving-water planting pattern of winter wheat in the North China Plain during 2010–2011 winter wheat growing season at the Agronomy Station of Shandong Agricultural University. A split-plot design was applied with 2 planting patterns, i.e., wide-precision planting pattern and conventional-cultivation planting pattern, in the main plots, and 3 different irrigation regimes, i.e., 60 mm irrigated at jointing and heading stages, irrigated 60 mm only at jointing stage, and non-irrigation in the whole growing season, to study the effects of planting pattern and irrigation on grain yield and yield components, protein yield, protein content, gluten index, wet gluten content, sedimentation volumes, water absorption, dough development time, and dough stability time, etc. The results showed that wide-precision planting pattern significantly increased winter wheat grain yield, which was attributed to increasing spike numbers significantly. Under the conditions of irrigated 60 mm each at jointing and heading stages, the increase production potential in wide-precision planting pattern was much better than that in conventional-cultivation planting pattern. Conventional-cultivation planting pattern increased grain protein content; however, no matter irrigated 60 mm only at jointing stage or irrigated 60 mm each at jointing and heading stages, the protein yield in wide-precision planting pattern was much higher than that in conventional-cultivation planting pattern. 60 mm irrigated each at jointing and heading stages in wide-precision planting pattern, the gluten index and wet gluten content were significantly higher than those in non-irrigation or only irrigated 60 mm at jointing stage; however, 60 mm irrigated each at jointing and heading stages in conventional-cultivation planting pattern, the gluten index and wet gluten content were significantly lower than those in non-irrigation or only 60 mm irrigated at jointing stage. 60 mm irrigated each at jointing and heading stages in wide-precision planting pattern, the sedimentation volumes was significantly lower than those in non-irrigation or irrigated 60 mm only at jointing stage; hence, under deficit irrigation conditions, wide-precision planting pattern could improve processing quality of winter wheat grain yield. Compared with conventional-cultivation planting pattern, wide-precision planting which irrigated 60 mm each at jointing and heading stages significantly increased water absorption. The results indicated that 60 mm irrigated each at jointing and heading stages in wide-precision planting pattern achieved reasonable winter wheat grain yield and yield quality; hence, in the North China Plain, application of conventional-cultivation planting pattern should be restricted. Instead, wide-precision planting pattern should be used in combination with deficit irrigation to increase winter wheat grain yield and improve yield quality. The study could provide theoretical basis and technical support for water-saving agriculture and high yield and high quality winter wheat cultivation in the North China Plain.

Key words: irrigation, moisture, experiments, wide-precision planting, winter wheat, grain yield, grain quality

（责任编辑：曾勰婷）