

行距对晚播冬小麦群体物质积累和水分利用的影响

薛盈文^{1,2} 艾米拉古丽³ 王志敏¹ 王彬¹ 张英华^{1*}

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院,北京 100193;

2. 黑龙江八一农垦大学 农学院,黑龙江 大庆 163319;

3. 新疆克州种子管理站,新疆 克州 845350)

摘要 为研究行距对晚播冬小麦群体物质积累、水分利用的影响,设置行距为 12、20、30 cm 3 个处理,分析不同行距处理的群体物质积累、叶面积指数、水分消耗参数、产量和水分利用效率。结果表明,在晚播限水灌溉条件下,适当缩小行距(12 cm)可以增加冬小麦群体叶面积指数,提高群体物质积累和花后物质积累比例;与 30 cm 行距相比,12 cm 行距能充分利用 40~120 cm 土体内的土壤水分,显著提高产量和水分利用效率(19.8~20.4 kg/(hm²·mm))。适当缩小行距至 12 cm 可能是提高晚播冬小麦产量和水分利用效率的有效措施。

关键词 小麦;行距;物质生产;水分利用;产量

中图分类号 S 512

文章编号 1007-4333(2014)05-0001-07

文献标志码 A

Effect of rowing space on population dry matter accumulation and water utilization of late-sowing winter wheat

XUE Ying-wen^{1,2}, AMI La-guli³, WANG Zhi-min¹, WANG Bin¹, ZHANG Ying-hua^{1*}

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China;

3. Seed Management Station of Kezhou, Kezhou 845350, China)

Abstract To investigate the effects of rowing space on the population dry matter accumulation and water utilization of late-sowing winter wheat, three rowing spaces (12 cm (R12), 20 cm (R20), 30 cm (R30)) were designed, and the population dry matter, leaf area index, the water consumption parameter, yield and water use efficiency were analyzed. The results indicated that reducing aptly rowing space to 12 cm under the late-sowing and limited water condition could increase the leaf area index, enhance the population dry matter and the ratio of dry matter post-anthesis. Compared to the R30, the more water of 40-120 cm soil layer under R12 was used, the yield and the water utilization efficiency (19.8~20.4 kg/(hm²·mm)) of R12 population were significantly higher. Reducing aptly rowing space to 12 cm might be an effective measure to increase population yield and water use efficiency in late-sowing winter wheat.

Key words wheat; rowing space; matter accumulation; water utilization; yield

华北平原是我国粮食作物主产区,“冬小麦-夏玉米”一年两熟轮作体系是该区域的主要农作制度。随着气候变暖和水资源日趋紧缺,为了提高周年产量和水分利用效率,近年来各地推广了夏玉米晚收、

冬小麦晚播的“双晚”技术,该技术模式的优势在于:夏玉米适当晚收,有利于高效利用有限的光热资源,增加粒重,提高单产;此外,冬小麦适期晚播,有利于减少冬前耗水,并避免旺长,有利于安全越冬^[1]。在

收稿日期:2014-01-02

基金项目:国家科技支撑计划项目(2011BAD16B14);公益性行业科研专项项目(201303133,201203031);小麦产业技术体系(CARS-3-1-25);北京市青年英才专项(31056101)

第一作者:薛盈文,博士研究生,E-mail:xueyingwen1228@aliyun.com

通讯作者:张英华,副教授,主要从事小麦节水高产和微量营养研究,E-mail:yhzhang@cau.edu.cn

适期晚播的情况下,为了获得较高的小麦产量,通常采用加大播种量、增加基本苗来获得足够的冬前群体,但如果冬前群体生长过旺会造成冬前水分的严重浪费,播量过高还会增加行内株间竞争,不利于群体生产力和资源利用效率的提高。为了创造较为合理的冬小麦群体结构,以提高冬小麦群体光热和水资源的利用效率,已有学者研究了耕作措施^[2]、播期和密度^[3-5]、肥水调控^[6-7]、行距调整^[8-11]等措施对冬小麦群体结构和物质积累的影响,这些研究对冬小麦高产群体结构的创建具有一定的借鉴意义。另外,种植方式和行距调整也影响冬小麦的水分利用效率,有学者提出垄作种植方式可以比平作节水30%^[12];董浩等^[13]研究认为,与等行距处理相比,“沟播结合灌拔节水+开花水”是华北地区较适宜的节水方式。然而,在当前土地连片、规模化种植的趋势下,上述内容中提及的种植方式在生产中难以大面积应用,平作条播仍是冬小麦主要的种植方式。有研究认为,平播时较宽行距(30 cm)使土壤蒸发量增加了17%,而缩小行距可以提高水分利用效率^[14]。但是有关晚播、大群体栽培条件下,行距调整对冬小麦物质生产、水分利用和产量的影响效应未见报道。针对上述问题,本研究在华北地区过晚播(冬前叶龄小于3)、有限灌溉条件下,研究不同行距对冬小麦群体叶面积指数(Leaf area index, LAI)、物质积累与运转、生育阶段土壤水分消耗、水分利用参数、群体产量和水分利用效率的影响,以期为晚播节水栽培条件下的冬小麦群体调控技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验条件与试验设计

试验于2011—2013年度在中国农业大学吴桥实验站(北纬37°41′02″,东经106°37′23″)进行,该区

域全年光照2 724.8 h,年平均气温12.9℃,无霜期201 d,小麦生长季内的降雨量如图1所示。试验地为壤质底黏潮土,播种前耕层基础地力情况列于表1。以华北地区主栽的冬小麦品种济麦22为试验材料,设置3个行距处理:12 cm(R12)、20 cm(R20)和30 cm(R30)。试验采用裂区设计,重复3次,小区面积24 m²。施肥量参照冬小麦简化栽培模式^[15]:尿素225 kg/hm²、磷酸二铵300 kg/hm²、硫酸钾150 kg/hm²、硫酸锌15 kg/hm²,均作底肥一次性施入。2011—2012年度的播种期为11月2日,因降温降雪早,小麦入冬前叶龄为第1叶露尖;2012—2013年度的播种期为10月25日,入冬叶龄为2叶1心。2年的前茬均为玉米,小麦基本苗均设为705万株/hm²,由于两年春季拔节期皆有降雨,生育期内均只浇开花水(750 m³/hm²),使用水表控制灌水量。

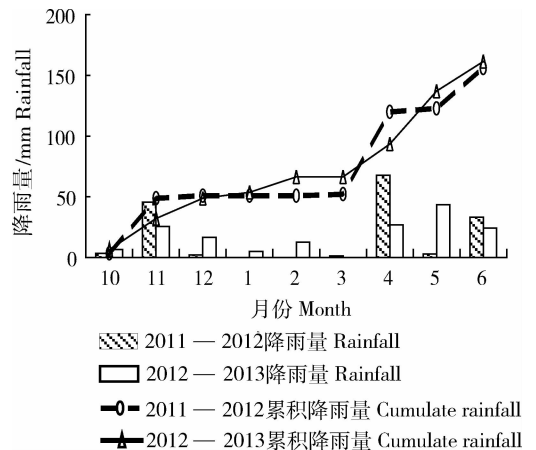


图1 2011—2013年度冬小麦生育期内的降水分布

Fig. 1 Rainfall distribution during winter wheat growing season in 2011—2013

表1 2011—2012和2012—2013年度耕层土壤养分状况

Table 1 Nutrient content of top soil in 2011—2012 and 2012—2013

年度 Year	全氮/(g/kg) Total nitrogen	碱解氮/(mg/kg) Alkali hydrolyzable nitrogen	速效磷/(mg/kg) Rapidly available phosphorus	速效钾/(mg/kg) Rapidly available potassium	有机质/(g/kg) Organic matter	pH
2011—2012	0.92±0.06	57.8±0.6	44.6±0.2	91.0±0.6	10.7±0.2	7.8±0.1
2012—2013	0.85±0.08	55.4±0.4	45.5±0.3	88.3±0.4	9.5±0.3	7.7±0.1

1.2 测定项目和方法

1.2.1 地上部生物量和 LAI

在越冬前、返青、拔节、孕穗、开花、灌浆和成熟等7个生育时期,每个处理取长度为50 cm的样段,重复3次,将不同器官分开,装入纸袋在105 °C杀青30 min后,在70 °C烘干至恒重,依据比叶重法计算叶面积指数(LAI)^[16]。

1.2.2 营养器官贮藏物转移量及其对籽粒的贡献率

开花期前后贮藏物以及向籽粒转运量和贡献率的计算方法如下^[4]：

营养器官花前贮藏物质转运量 = 开花期营养器官干重 - 成熟期营养器官干重

营养器官花前贮藏物对籽粒重的贡献率/% = 花前贮藏物质转运量 / 成熟期籽粒干重 × 100

产量物质来自花后同化量 = 成熟期籽粒干重 - 花前贮藏物质转运量

花后同化量对籽粒重的贡献率/% = 花后同化物量 / 成熟期籽粒干重 × 100

1.2.3 土壤含水量

在各个生育时期,在每个重复小区的中部,用“土钻法”分层(20 cm/层)取0~200 cm土体各层土样,取出的土样置于铝盒中,置于110 °C下烘干,计算土壤含水量,土壤含水量(%)的计算方法如下：

土壤含水量/% = (湿土重 - 干土重) / 干土重 × 100

1.2.4 农田耗水量和水分利用参数

采用农田水量平衡方程计算冬小麦各个生育时期内0~200 cm土体的耗水量^[17-18]

$$ET = W + P + I - D + W_g - R$$

式中:ET为冬小麦生育期内农田耗水量,mm; ΔW 为生育期内土壤水分变化量(ΔW = 播种时土体内水层厚度 - 收获时土体内水层厚度); P 为降水量,mm; I 为灌溉量,mm; D 为灌溉后土壤水向下层流动量; W_g 为深层地下水利用量; R 为地表径流。试验地区地下水位超过7 m,且无地表径流, W_g 、 D 和 R 可忽略,所以农田耗水量的计算采用: $ET = \Delta W + P + I$,灌溉量(I)通过水表控制,降水量(mm)参照试验田500 m附近人工气象站的降水量。水分利用效率(WUE, $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$) = 籽粒产量(kg/hm^2)/ $ET(\text{mm})$

其他水分利用特征参数的计算方法如下：

耗水强度(WCI, mm/d) = 生育阶段土壤水分

蒸散总量(mm)/生育阶段持续时间(d)

耗水模系数(WCP,%) = 生育阶段土壤水分蒸散总量(mm)/生育期土壤水分蒸散总量(mm) × 100

1.2.5 产量

每个重复收获2 m²,脱粒称重,并折算为14%含水量下的产量。

1.2.6 数据统计

用Excel 2010整理数据,运用DPS 7.05数据处理系统和Duncan新复极差法进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 行距对晚播冬小麦群体物质积累和 LAI 的影响

LAI和群体物质积累是群体产量形成的重要指标。2个生长季内LAI和群体物质积累除冬前存在差异外,春季返青后的趋势基本一致,本研究以2012—2013年度的结果加以说明。3个行距处理的LAI在生育期内的变化趋势相同(图2),在返青期,R12的LAI大于R20和R30,处理间差异不显著($F=1.24, P=0.35$);起身期以后,各个处理的LAI均逐渐上升,孕穗期达到最大值,R12、R20、R30的最大LAI分别为6.24、5.49和4.99,其中,R12显著高于R20($F=5.30, P=0.05$)。“返青-灌浆”期间较窄行距处理(R12)的LAI始终大于其他2个处理。

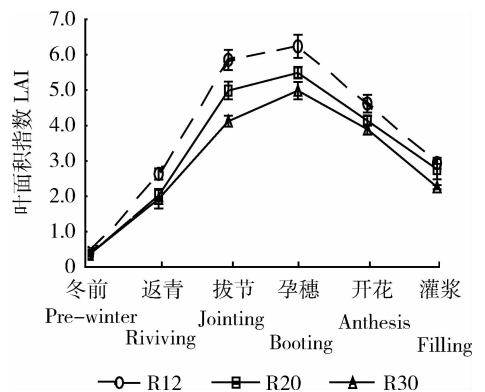


图2 不同处理各个生育时期叶面积指数(LAI)的动态变化(2012—2013)

Fig. 2 Dynamic trend of LAI of each treatment in different growth stage (2012—2013)

各处理不同生育时期群体物质积累变化如图3所示。拔节期之前,3个处理的群体物质积累量差异不明显;从孕穗期开始,R12群体物质积累速度明显加快,成熟期R12、R20和R30物质积累量分别为:18 516、16 595和16 087 kg/hm²,R12显著高于R20、R30($F=30.2, P=0.04$)。

各处理开花期前后的物质积累量、转运量及其对籽粒贡献率如表2所示,R20和R30营养器官的花前贮藏物质转运量、花前贮藏物对籽粒贡献率略高于R12,3个处理间无显著差异;花后物质积累量及其对籽粒的贡献率随着行距的增大而减小,R12的花后同化量及其对籽粒贡献率显著高于R30,而R20与R30之间无显著差异。

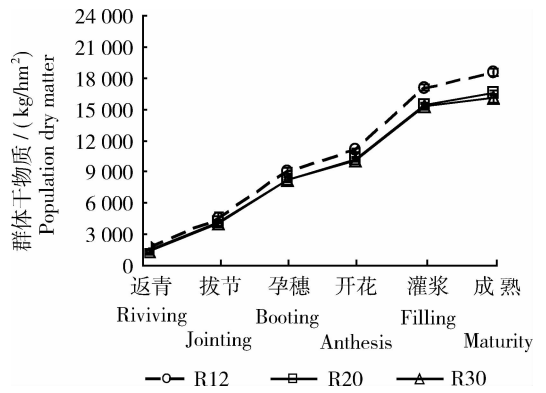


图3 不同处理各个生育时期干物质积累的动态变化(2012—2013)

Fig. 3 Dynamic trend of dry matter of each treatment in different growth stage (2012—2013)

表2 不同处理花前贮藏物转运和花后同化物积累的比较(2012—2013)

Table 2 Comparison of translocation of dry matter pre-anthesis and accumulation of assimilates post-anthesis(2012—2013)

处理 Treatment	成熟期籽粒干重/ (kg/hm ²) Grain dry weight at maturity	花前贮藏物质转运量/ (kg/hm ²) Translocation amount of dry matter pre-anthesis	花前贮藏物质 对籽粒的贡献率/% Contribution of dry matter pre-anthesis	花后同化物积累量/ (kg/hm ²) Assimilate amount post-anthesis	花后同化物对 籽粒的贡献率/% Contribution of assimilates post-anthesis
R12	8 144.0 a	701.0 a	8.6 a	7 443.0 a	91.4 a
R20	7 288.2 b	933.3 a	12.8 a	6 354.9 ab	87.2 b
R30	6 891.1 b	914.0 a	13.3 a	5 977.1 b	86.7 b

注:表中数值为3个重复的平均值,各项指标平均值后的字母表示处理间差异显著水平($P<0.05$)。下表同。

Note: Data in the table are means of 3 replications, different letters are significantly different at $P<0.05$. The same as below.

2.2 行距对冬小麦阶段耗水和成熟期各层土壤含水量的影响

不同生育阶段耗水参数列于表3,2个年度由于播期、降水分布和生育进度的差异,小麦阶段耗水特征也有所不同。播种-返青、返青-拔节2个年度耗水强度都较小,但由于2012—2013年度播期较早因而耗水强度和耗水比例高于2011—2012年度。拔节-开花、开花-灌浆2个阶段的耗水强度和耗水比例都相对较高,2个阶段的耗水比例达到60%~70%左右,以开花-灌浆期的耗水比例最高,占全生育期耗水35%以上。2011—2012年度开花-灌浆期间耗水强度和耗水比例随行距缩小而显著增加,但R12和R20之间无显著差异;2012—2013年度则表现为拔节-开花期间耗水强度和耗水比例随行距缩小而显著增加。灌浆-成熟期间耗水强度

和耗水比例在2011—2012年度表现为随行距缩小而显著减少,在2012—2013年度行距间无显著差异。

成熟期0~40 cm土层土壤含水量占0~200 cm土体中总含水量的比值在年际间和处理间无明显差异,而40~80、80~120、120~200 cm土层土壤含水量占0~200 cm土体中总含水量的比值在年际间和处理间都有一定差异(图4)。2012—2013年度40~120 cm土壤含水量所占比值高于2011—2012年度,120 cm以下土壤含水量所占比值低于2011—2012年度,说明2012—2013年度冬小麦对120 cm以下土层水分的消耗更多些。另外,2个年度都表现为,随着行距缩小,40~120 cm土壤含水量所占比值减小,说明缩小行距增加了冬小麦对40~120 cm土层水分的消耗。

表 3 不同处理各个生育阶段内耗水参数的比较

Table 3 Comparison of water consumption in different growing period of the treatments

年度 Year	处理 Treatment	耗水参数 Water consumption parameter	播种-返青 Sowing- reviving	返青-拔节 Reviving- jointing	拔节-开花 Jointing- anthesis	开花-灌浆 Anthesis- filling	灌浆-成熟 Filling- maturity
2011—2012	R12	耗水强度/ (mm/d) WCI	0.3 a	1.2 a	5.2 a	10.8 a	4.4 b
	R20		0.1 b	1.2 a	5.3 a	10.5 a	5.2 ab
	R30		0.1 b	1.3 a	5.2 a	8.7 b	7.0 a
	R12	耗水比例/% WCP	10.4 a	8.0 a	29.1 a	41.2 a	11.2 b
	R20		5.7 b	8.0 a	30.7 a	41.7 a	13.9 b
	R30		6.0 b	9.0 a	30.9 a	35.1 b	19.0 a
2012—2013	R12	耗水强度/ (mm/d) WCI	0.5 a	1.8 a	4.3 a	8.8 a	2.8 a
	R20		0.5 a	1.5 b	4.0 b	8.7 a	3.0 a
	R30		0.4 a	1.6 b	3.3 c	9.0 a	3.4 a
	R12	耗水比例/% WCP	15.4 a	12.0 a	26.6 a	36.7 c	9.4 a
	R20		16.1 a	10.3 b	25.7 a	37.7 b	10.2 a
	R30		15.4 a	11.5 a	21.3 b	39.9 a	11.9 a

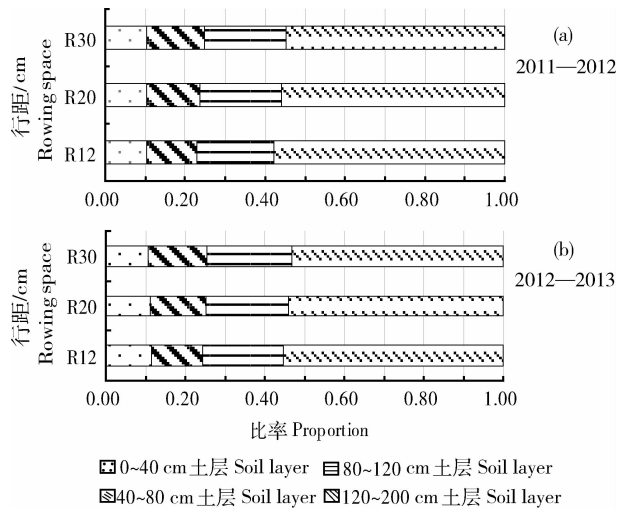


图 4 成熟期各处理 4 个土层含水量占 0~200 cm 土体总含水量的比值

Fig. 4 Ratio of water content in four soil layers to total water content in 200 cm soil layer at maturity

2.3 行距对晚播冬小麦群体产量和水分利用效率的影响

各个处理的产量构成因素如表 4 所示,收获穗数在处理间没有显著差异,穗粒数和千粒重随着行距的增加而减小,千粒重在 3 个处理间没有显著差

异,穗粒数是处理间产量差异的主要因素,R12 的穗粒数显著高于 R30。从 2 年的实际产量来看,R12 显著高于 R30,而 R20 与 R30 无显著差异,由此可见,适当缩小行距(12 cm)可以提高晚播冬小麦群体的产量。

各个处理的水分利用参数列于表 5 中,生育期内总耗水量和土壤贮水消耗量(ΔW)随着行距缩小而增加,总耗水量 R12 和 R30 之间的差异达到显著水平($P < 0.05$)。土壤贮水消耗量占总耗水的比例随着行距的缩小而增大,2 个年度内 3 个处理间的差异达到显著水平。调整行距对晚播冬小麦群体的水分利用影响较大,行距过大的 R30 水分利用效率最低,适当缩小行距(12 cm)有利于产量和水分利用效率的协同提高。

3 讨论与结论

3.1 讨论

生育期内较高的 LAI 和群体生物量是冬小麦产量形成的基础,行距调整对晚播群体的 LAI 和生物量影响较大。图 2、图 3 和表 2 的结果说明,R12 在开花前后始终保持较高的 LAI,且群体干物质积累较高,花后同化物积累量及其对籽粒的贡献率都显著高于 R30。说明适当缩小行距至 12 cm,可以增

表4 不同行距处理的产量构成因素和产量(2011—2013)

Table 4 Yield and yield components of different rowing space(2011—2013)

年度 Year	处理 Treatment	收获穗数/ (10 ⁴ /hm ²) Harvest spikes	穗粒数 Grains per spike	千粒重/g Thousand-grain weight	理论产量/ (kg/hm ²) Theoretical yield	实际产量/ (kg/hm ²) Realistic yield
2011—2012	R12	778.1 a	28.2 a	40.5 a	8 886.7 a	8 045.4 a
	R20	751.2 a	26.1 b	39.9 a	7 822.9 b	7 463.3 ab
	R30	735.2 a	25.3 b	39.7 a	7 384.4 b	6 462.4 b
2012—2013	R12	768.3 a	34.2 a	37.8 a	9 932.3 a	9 023.3 a
	R20	756.3 a	32.2 ab	37.4 a	9 107.9 b	8 260.4 b
	R30	754.4 a	31.1 b	36.9 a	8 657.4 b	7 891.2 b

表5 不同行距处理小麦生育期内的耗水组成及比例

Table 5 Proportion and water consumption components of different rowing space in winter wheat growing period

年度 Year	处理 Treatment	总耗水量/ mm Total water consumption	土壤贮水消 耗量/mm Soil water consumption	比例/% Proportion	降水量/ mm Rainfall	比例/% Proportion	灌溉量/ mm Irrigation	比例/% Proportion	水分利用效率/ (kg/ hm ² ·mm)) WUE
2011—2012	R12	393.7 a	162.7 a	41.3	156.0	39.6	75	19.0	20.4 a
	R20	378.0 ab	146.9 b	38.9	156.0	41.3	75	19.8	19.7 ab
	R30	370.3 b	139.3 c	37.6	156.0	42.1	75	20.3	17.5 b
2012—2013	R12	454.5 a	218.2 a	48.0	161.3	35.5	75	16.5	19.8 a
	R20	439.5 ab	203.2 b	46.2	161.3	36.7	75	17.1	18.8 b
	R30	429.7 b	193.4 c	45.0	161.3	37.5	75	17.5	18.4 b

加晚播冬小麦群体的 LAI,提高生物量,显著增加群体的花后同化物累积量及其对籽粒产量的贡献率。本研究中,3个行距处理花前贮藏物对产量的贡献率较低,而花后同化物对籽粒的贡献率高达 86.7%~91.4%,高于前人^[4]的相关报道,这可能与播期较晚、小麦开花以前物质积累较少有关;另外,营养器官花前贮藏物向籽粒的转运量及其贡献率处理间没有显著差异,R30的上述2个指标略高于其他2个处理,可能是宽行距内植株个体竞争加剧了群体衰老、花前贮藏物转移进程提前的结果。

本研究中,0~20 cm 土体在返青-拔节期间 R30 的土壤含水量(16.5%~12.1%)均低于 R12 和 R20,这是宽行距处理田间植株覆盖度低、行间土地裸露面积加大、棵间蒸发增加的原因^[14]所致。从耗水强度和耗水比例来看,2012—2013 年度由于冬前出苗较早,返青-拔节期间出现短时期的土壤水分亏

缺,导致播种-返青、返青-拔节的耗水强度和比例大于 2011—2012 年度(表 3)。拔节-开花、开花-灌浆 2 个阶段的耗水比例之和达到 60%~70%,仍是主要的耗水阶段,其中,开花-灌浆阶段的耗水比例最大(35%以上),这一阶段的耗水比例大于早播群体的相关报道^[19],可能与晚播群体开花时期相对延后、后期气温较高、生育时期相对延长等因素有关。拔节-灌浆期间,耗水强度和耗水比例随行距缩小而显著增加。另外,晚播群体在拔节-灌浆期间对水分的集中大量消耗(表 3 和表 5),充分说明晚播群体后期水分管理的重要性。

前人的相关研究指出,灌溉模式会影响不同土层水分的消耗^[20-21]。本研究中,收获期 40~120 cm 土层含水量与 0~200 cm 总含水量的比值随着行距缩小而降低(图 4),由于 3 个行距的土壤水分消耗量差异显著(表 5),说明 R12 更能增加 40~120 cm

层次土壤水分的吸收利用,尤其在2011—2012年度表现明显,这说明前期土壤的水分亏缺会促使小麦根系下扎^[22],更能充分利用生育后期深层次的土壤贮水。本研究中,行距对晚播冬小麦群体的产量和水分利用效率的影响较大,R12的产量和水分利用效率显著高于R30,此结果与Chen等^[23]的报道略有不同。

由于夏玉米收获后进行秸秆还田,生产中常用的行距在20 cm左右,本研究中采用12 cm行距作为最小行距,主要是考虑在播前浇水、土壤湿度较大的情况下,过窄的行距可能会使潮湿的土壤和秸秆堵塞播种机开沟器,进而影响播种质量,因此,在今后的研究中,需考虑能否在提高整地质量的基础上适当缩小行距、增加行内植株分布的均匀度、减少晚播高密度群体内的个体竞争,从而提高晚播冬小麦群体的物质生产能力;同时,有关晚播行距处理在不同年份和降雨条件下的阶段耗水特征、棵间蒸发及生育期内耗水动态变化尚需深入研究。

3.2 结论

在晚播(10月25日以后)大群体的条件下,适当缩小行距(12 cm),可以提高群体的LAI和干物质积累量,增加花后同化物积累量及其对籽粒的贡献率,增加晚播群体对40~120 cm土层的水分利用率,显著提高土壤贮水消耗量、产量和水分利用效率。在当前华北地区的小麦生产中,适当缩小行距至12 cm,有利于晚播冬小麦产量和水分效率的协同提高,可以作为晚播群体调控措施的参考。

参 考 文 献

- [1] 付雪丽,张惠,贾继增,等.冬小麦-夏玉米“双晚”种植模式的产量形成及资源效率研究[J].作物学报,2009,35(9):1708-1714
- [2] Hou X, Li R, Jia Z, et al. Effects of rotational tillage practices on soil properties, winter wheat yields and water-use efficiency in semi-arid areas of north-west China[J]. Field Crop Res, 2012, 129(11):7-13
- [3] 刘万代,陈现勇,尹钧,等.播期和密度对冬小麦豫麦49-198群体性状和产量的影响[J].麦类作物学报,2009,29(3):464-469
- [4] 屈会娟,李金才,沈学善,等.种植密度和播期对冬小麦品种兰考矮早八干物质和氮素积累与转运的影响[J].作物学报,2009,35(1):124-131
- [5] 杨健,张保军,毛建昌,等.播期与密度对冬小麦西农9871籽粒产量的影响[J].麦类作物学报,2011,31(3):529-534
- [6] 赵雪飞,王丽金,李瑞奇,等.不同灌水次数和施氮量对冬小麦群体动态和产量的影响[J].麦类作物学报,2009,29(6):1004-1009
- [7] 李志勇,陈明灿,王璞,等.几种水氮模式处理下冬小麦根系生长的差异[J].麦类作物学报,2008,28(6):1031-1035
- [8] 刘雪薇,董宝婧,苗芳,等.不同行距和播量对重穗型高产冬小麦生物学性状的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(4):161-165
- [9] 孙宏勇,刘昌明,张喜英,等.不同行距对冬小麦麦田蒸发、蒸散和产量的影响[J].农业工程学报,2006,22(3):22-26
- [10] 杨文平,郭天财,冯伟,等.行距配置对两种穗型冬小麦品种光合特性及产量的影响[J].麦类作物学报,2012,32(3):494-499
- [11] Karrou M. Observations on effect of seeding pattern on water-use efficiency of durum wheat in semi-arid areas of Morocco [J]. Field Crop Res, 1998, 59(3):175-179
- [12] Fahong W, Xuqing W, Sayre K. Comparison of conventional, flood irrigated, flat planting with furrow irrigated, raised bed planting for winter wheat in China[J]. Field Crop Res, 2004, 87(1):35-42
- [13] 董浩,陈雨海,周勋波.灌溉和种植方式对冬小麦耗水特性及干物质生产的影响[J].应用生态学报,2013,24(7):1871-1878
- [14] 陈素英,张喜英,陈四龙,等.种植行距对冬小麦田土壤蒸发与水分利用的影响[J].中国生态农业学报,2006,14(3):86-89
- [15] 王志敏,王璞,李绪厚,等.冬小麦节水省肥高产简化栽培理论与技术[J].中国农业科技导报,2006,8(5):38-44
- [16] 张宪政.作物生理研究法[M].北京:中国农业出版社,1992
- [17] 郑成岩,于振文,马兴华,等.高产小麦耗水特性及干物质的积累与分配[J].作物学报,2008,34(8):1450-1458
- [18] Li J, Inanaga S, Li Z, et al. Optimizing irrigation scheduling for winter wheat in the North China Plain [J]. Agri Water Manage, 2005, 76(1):8-23
- [19] 臧贺藏,刘云鹏,余鹏,等.水氮限量供给下两个高产小麦品种物质积累与水分利用特征[J].麦类作物学报,2012,32(4):689-695
- [20] 郭清毅,黄高宝.保护性耕作对旱地麦-豆双序列轮作农田土壤水分及利用效率的影响[J].水土保持学报,2005,19(3):165-169
- [21] 杨晓亚,于振文,许振柱.灌水量和灌水时期对小麦耗水特性和氮素积累分配的影响[J].生态学报,2009,29(2):846-853
- [22] 薛丽华,段俊杰,王志敏,等.不同水分条件对冬小麦根系时空分布、土壤水利用和产量的影响[J].生态学报,2010,30(19):5296-5305
- [23] Chen S, Zhang X, Sun H, et al. Effects of winter wheat row spacing on evapotranspiration, grain yield and water use efficiency[J]. Agri Water Manage, 2010, 97(8):1126-1132