

# 行距对冬小麦品种新麦 26 群体质量和产量的影响

盛 坤<sup>1</sup>,张露雁<sup>2</sup>,郭玉强<sup>3</sup>,赵酒林<sup>1</sup>,杨丽娟<sup>1</sup>,马华平<sup>1</sup>

(1.新乡市农业科学院 国家小麦产业技术体系新乡试验站,河南 新乡 453000;

2.辉县市气象局,河南 辉县 453600; 3.辉县市高庄乡便民服务中心,河南 辉县 453600)

**摘要:** 在大田条件下,连续 2 a 以紧凑多穗型冬小麦品种新麦 26 为试验材料,采用随机区组设计,研究了 3 种行距对其群体动态变化、叶面积指数、干物质积累动态和产量的影响。结果表明,行距对上述指标有明显影响,2 a 结果一致。随行距变窄,相同时期群体数和叶面积指数呈增加趋势,15 cm 行距的最高群体、成穗率和最高叶面积指数均最高,花后叶面积指数下降较缓慢。使用 Richards 生长曲线,以有效积温为自变量对冬小麦干物质积累动态进行拟合, $R^2$  在 0.996 以上。干物质积累初始速率、平均速率和最终干物质质量均以 15 cm 行距最高,并随行距变宽而变小。缩小行距能降低冬小麦的穗粒数,提高成穗数、千粒质量和籽粒产量。15 cm 行距 2 a 产量平均比 20 cm 和 25 cm 行距分别高出 4.8% 和 9.5%。紧凑多穗型小麦品种新麦 26 的最佳行距为 15 cm。

**关键词:** 行距; 冬小麦; 新麦 26; 群体质量; 产量

**中图分类号:** S512.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2015)03-0026-05

## Effects of Row Spacing on Population Quality and Grain Yield of Winter Wheat Cultivar Xinmai-26

SHENG Kun<sup>1</sup>,ZHANG Luyan<sup>2</sup>,GUO Yuqiang<sup>3</sup>,ZHAO Jiulin<sup>1</sup>,YANG Lijuan<sup>1</sup>,MA Huaping<sup>1</sup>

(1. State Experimental Station of CARS in Xinxiang,Xinxiang Institute of Agricultural Sciences,Xinxiang 453000,China;  
2. Huixian Meteorological Bureau,Huixian 453600,China; 3. Citizen Service Center of Huixian County,Huixian 453600,China)

**Abstract:** In order to study the effects of row spacing on population dynamic changes, leaf area index (LAI), dry matter accumulation (DMA) and grain yield of Xinmai-26, a compact multi-spike winter wheat cultivar, a two-year field experiment with randomized block design was conducted. The results showed that all the parameters tested had significant difference among the three row spacing treatments, and were consistent between the two growing seasons. The population and LAI increased with the decrease of row spacing. The maximum population, earbearing tiller ratio and maximum LAI were the highest in the treatment of 15 cm. The decline of LAI in treatment 15 cm was the slowest after anthesis. Taking effective accumulated temperature as independent variable, three equations were established by Richards growth curve to simulate the dynamic of DMA, the  $R^2$  of which were more than 0.996. The initial rate, average rate and final amount of DMA in treatment 15 cm were also the highest. Narrowing row spacing could decrease the grain number per spike, but increase the spike number per hectare, 1 000-kernel weight and grain yield. The average yield of treatment 15 cm in two years was 4.8% and 9.5% higher than that of treatment 20 cm and 25 cm, respectively. Therefore, the optimum row spacing for compact multi-spike wheat variety Xinmai-26 was 15 cm.

**Key words:** row spacing; winter wheat; Xinmai-26; population quality; grain yield

收稿日期:2014-09-15  
基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-3-2-35);国家农业科技成果转化资金项目(2012GB2D00026);2013 年河南省重大科技专项  
作者简介:盛 坤(1982-),男,河南永城人,助理研究员,硕士,主要从事小麦栽培节水技术研究。E-mail: skun5@qq.com

行距配置是高产栽培中重要的技术手段<sup>[1-3]</sup>,不同类型的小麦应当采用不同的行距<sup>[4]</sup>。一般认为,缩小行距能提高分蘖成穗率<sup>[4]</sup>和干物质积累量<sup>[5]</sup>,改善群体叶面积指数<sup>[6]</sup>,进而提高产量。前人多从穗型因素考虑行距配置对冬小麦产量的影响,认为大穗型品种适宜采用窄行距,多穗型品种适宜采用宽行距或宽窄行模式<sup>[7-10]</sup>。也有研究表明,缩小行距使单株干物质质量下降<sup>[7]</sup>,其增产效应与穗型无关<sup>[6]</sup>。本试验选用紧凑多穗型强筋小麦品种新麦26,研究不同行距处理对其群体动态变化、叶面积指数、干物质积累动态和产量的影响,以期为该品种的高产栽培提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验设计

试验于2009—2011年连续2 a在新乡市农业科学院辉县试验基地进行。试验田土质为黏壤土,2009年播种前测定0~30 cm土层土壤养分,有机质17.98 g/kg、全氮1.31 g/kg、速效磷24.4 mg/kg、速效钾211.8 mg/kg,pH值7.1。供试材料为紧凑多穗型小麦品种新麦26,基本苗均为285万苗/hm<sup>2</sup>。试验采用单因素随机区组设计,设置3个行距:15 cm、20 cm、25 cm,小区面积为20.8 m<sup>2</sup>(2.6 m×8 m),重复3次。于2009年10月17日播种,2010年6月5日收获;2010年10月15日播种,2011年6月8日收获。播种前结合整地底施纯N 120 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 112.5 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 60 kg/hm<sup>2</sup>,拔节期结合浇水追施纯N 120 kg/hm<sup>2</sup>,2 a管理一致。

### 1.2 测定项目与方法

3叶期固定1 m双行样段,在主要生育时期调查群体茎蘖数。采用打孔称质量法测定叶面积指数(LAI)<sup>[11]</sup>。小麦关键生育时期,在各小区内选择长势均匀的植株,每次随机取10~20株,105℃杀青20 min,80℃烘48 h,称干质量。成熟时将1 m双行样段整株收获进行考种,全区收获计产。生育期气温数据由辉县市气象局提供。第*i*天的累积有效积温 $GDD_i = \sum [(TMAX_i + TMIN_i)/2 - T_b]$ ,其中, $TMAX_i$ 和 $TMIN_i$ 分别为第*i*天的最高和最低气温, $T_b$ 为基点温度(0℃)。

### 1.3 数据分析

用Microsoft Excel 2007处理数据、作图,用SPSS 20软件进行数据统计分析和方程拟合。将测得的不同生育时期的干物质积累量( $DMA_i$ )和有效积温( $GDD_i$ )均进行归一化处理,分别得到不同生育时期

的相对干物质积累量( $DMA_R$ )和相对有效积温( $GDD_R$ ), $DMA_R = DMA_i/DMA_m$ , $GDD_R = GDD_i/GDD_m$ 。其中, $DMA_m$ 为最大干物质积累量, $GDD_m$ 为收获时累积有效积温。

以 $GDD_R$ 为自变量( $x$ ), $DMA_R$ 为因变量( $y$ ),采用Richards方程 $y = A/[1 + b \times \exp(-k \times x)]^{1/N}$ 进行干物质积累动态的拟合<sup>[12]</sup>。其中, $A$ 为终极生长量, $b$ 为初值参数, $k$ 为生长速率参数, $N$ 为形状参数。次级特征参数如下:起始生长势( $R_0$ )= $k/N$ ;平均生长速率( $R_a$ )= $A \times k/(2N + 4)$ ;生长活跃期( $D$ )= $(2N + 4)/k$ ;最大生长速率( $R_{max}$ )到达时的相对 $GDD$ ,即 $GR_{max} = (\ln b - \ln N)/k$ ;将 $GR_{max}$ 代入Richards方程一阶导数中求得 $R_{max}$ ;于 $GR_{max}$ 时的生长量 $WR_{max} = A/(N + 1)^{1/N}$ ;Richards生长曲线呈明显的3阶段增长趋势,其中0至 $GDD_1$ 为渐增期,渐增持续期( $D_1$ )= $GDD_1$ ;  $GDD_1$ 至 $GDD_2$ 为快增期;快增持续期为( $D_2$ )= $GDD_2 - GDD_1$ ;  $GDD_2$ 至 $GDD_3$ 为缓增期,缓增持续期为( $D_3$ )= $GDD_3 - GDD_2$ 。其中, $GDD_1 = -\ln \{ [N^2 + 3N + N \times (N^2 + 6N + 5)^{0.5}] / 2b \} / k$ , $GDD_2 = -\ln \{ [N^2 + 3N - N \times (N^2 + 6N + 5)^{0.5}] / 2b \} / k$ ;  $GDD_3 = \ln \{ [ (100A/99)^N - 1 ] / b \} / k$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 行距配置对冬小麦群体动态变化的影响

行距对新麦26群体动态有显著的影响(图1),2 a结果趋势一致。各处理群体动态呈单峰曲线,最大值出现在起身期。在基本苗相同的条件下,同时期群体数随行距的增加而降低。如表1所示,2010年15 cm处理最高群体达1 786.7万茎/hm<sup>2</sup>,比20 cm和25 cm处理分别高出7.6%和18.3%;成穗数为654.4万穗/hm<sup>2</sup>,比20 cm和25 cm处理分别高出6.0%和19.6%;处理间成穗率差异较小,以25 cm处理最低。2011年15 cm处理的最高群体、成穗数和成穗率均最高,其中最高群体比20 cm和25 cm处理分别高出5.9%和11.3%;成穗数比20 cm和25 cm处理分别高出13.8%和23.3%;成穗率比20 cm和25 cm处理分别高出7.7%和10.8%。以上结果表明,各处理群体数存在年度间的变异,但群体动态变化年度间一致;最高群体、成穗数和成穗率均随行距的增加而降低。其原因可能是在播量相同的条件下,大行距导致行内拥挤,使群体环境对分蘖特性的抑制作用表现得更为突出<sup>[7]</sup>。

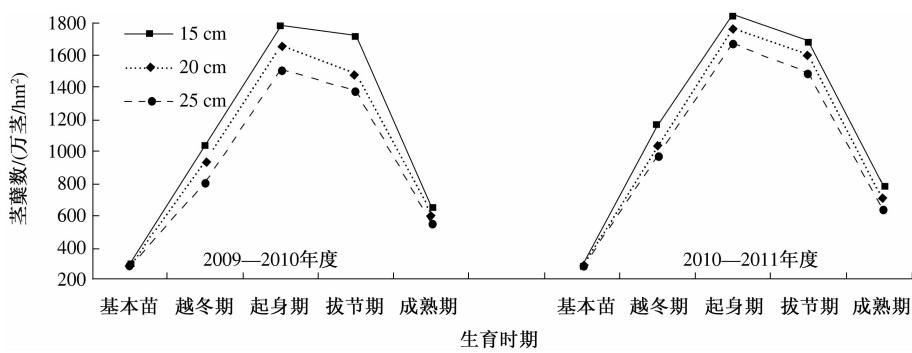


图 1 行距对新麦 26 群体动态变化的影响

表 1 行距对新麦 26 最高群体、成穗数和成穗率的影响

行距/cm	2009—2010 年度			2010—2011 年度		
	最高群体/ (万茎/hm <sup>2</sup> )	成穗数/ (万穗/hm <sup>2</sup> )	成穗率/%	最高群体/ (万茎/hm <sup>2</sup> )	成穗数/ (万穗/hm <sup>2</sup> )	成穗率/%
15	1 786.7a	654.4a	36.6a	1 866.7a	783.3a	42.0a
20	1 660.0b	617.5b	37.2a	1 763.3b	688.3b	39.0b
25	1 510.7c	547.2c	36.2a	1 676.7c	635.2c	37.9c

注:同列数据后不同小写字母表示在 5% 水平差异显著,下同。

2.2 行距配置对冬小麦叶面积指数的影响

从图 2 可以看出,LAI 的变化趋势呈单峰曲线,最大值出现在孕穗期。拔节前各处理的差异较小,拔节后处理间差异逐渐增大。15 cm 处理不仅提高了 LAI 峰值,而且后期 LAI 下降亦较平缓。在孕穗期 15 cm 处理 LAI 达到 6.10,比 20 cm 和 25 cm 处理分别高出 5.2% 和 16.2%。抽穗期和灌浆期各处理 LAI 均大幅下降,窄行距处理降幅较小。15 cm 处理由孕穗期的 6.10 下降到灌浆期的 3.45,下降了 43.4%;20 cm 处理由孕穗期的 5.80 下降到灌浆期的 3.10,下降了 46.6%;25 cm 处理由孕穗期的 5.25 下降到灌浆期的 2.80,下降 46.7%。说明缩小行距有利于小麦群体叶面积的发展,尤其对维持后期叶面积更为显著。

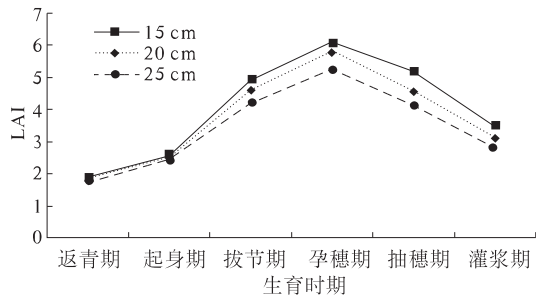


图 2 行距对新麦 26 叶面积指数的影响  
(2010—2011 年度)

2.3 行距配置对冬小麦干物质积累动态的影响

由图 3 可以看出,生长前期植株干质量增长缓慢,拔节期(1 023 ℃·d)以后增加迅速,临近成熟期又增长缓慢,总体呈“慢—快—慢”的 S 形曲线。

拔节期(1 023 ℃·d)之前各处理干物质积累量差异不明显,拔节期(1 023 ℃·d)以后处理间差异逐渐增大,且干物质质量随行距的缩小而增加。

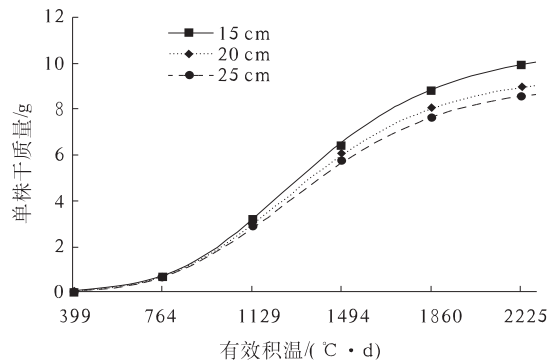


图 3 小麦干物质积累量随有效积温的动态变化  
(2010—2011 年度)

从表 2 可知,拟合方程的  $R^2$  均在 0.996 以上,表明 Richards 方程可较准确地描述相对于干物质积累量随相对有效积温的变化动态。所有处理的  $N$  值均小于 1,且随行距增大而增加,说明曲线的拐点均在最终生长量的 1/2 之前,随行距增大曲线拐点接近最终生长量的 1/2,这与  $W_{Rmax}$  相印证<sup>[13]</sup>。 $R_0$  随行距增大而减小,说明缩小行距能提高初始积累速率, $R_s$  和  $R_{max}$  均随行距增大而减小,但是 15 cm 和 20 cm 处理间差异较小,说明缩小行距能提高干物质积累平均速率和最大速率,但当行距小于 20 cm 之后效应减弱。 $D_1$  变化不规律, $D$ 、 $D_2$  和  $D_3$  在较窄行距时差异较小,随行距进一步增大  $D$ 、 $D_2$  变大, $D_3$  变小,说明缩小行距使活跃期缩短,主要是缩短了积

累快增期;缩小行距使积累缓增期增加,当行距小于 20 cm 时效应减弱,其原因可能是 25 cm 处理后期叶面积指数下降较大。综上所述,缩小行距通过提

高干物质积累初始速率和平均速率使最终干物质质量增加。

表 2 小麦单株干物质积累动态拟合方程参数及特征参数 (2010—2011 年度)

行距/cm	<i>A</i>	<i>b</i>	<i>k</i>	<i>N</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>R</i> <sub>0</sub>	<i>R</i> <sub>a</sub>	<i>D</i>	<i>GR</i> <sub>max</sub>	<i>R</i> <sub>max</sub>	<i>WR</i> <sub>max</sub>	<i>D</i> <sub>1</sub>	<i>D</i> <sub>2</sub>	<i>D</i> <sub>3</sub>
15	1.108	9.992	6.01	0.284	0.997	21.162	1.458	0.760	0.592	2.151	0.460	0.413	0.359	0.181
20	1.104	12.102	6.139	0.326	0.996	18.831	1.457	0.758	0.589	2.151	0.465	0.410	0.357	0.180
25	1.107	13.58	6.071	0.362	0.997	16.771	1.423	0.778	0.598	2.102	0.472	0.414	0.365	0.175

2.4 不同行距处理对冬小麦产量及构成要素的影响

从表 3 可以看出,缩小行距能够显著提高新麦 26 的产量,2 a 试验结果一致。2009—2010 年度 15 cm 处理产量比 20 cm 和 25 cm 处理分别高 4.1% 和 5.2%;2010—2011 年度 15 cm 处理产量比 20 cm 和 25 cm 处理分别高 5.2% 和 13.8%。2010—2011 年度的平均产量较上年度大幅提高,主要原因在于该年度越冬前和返青—拔节期土壤墒情较好,气温较高,最高分蘖数和成穗率(表 1)均较上年度增加。从产量构成因素来看,缩小行距使成穗数(表 1)和千粒质量显著增加,但却显著降低了穗粒数;15 cm 处理较 25 cm 处理,2009—2010 年度千粒质量增加 5.0%,穗粒数下降 3.7%,2010—2011 年度千粒质量增加 4.1%,穗粒数下降 10.8%。由此可以看出,缩小行距虽然降低了新麦 26 的穗粒数,却能显著提高成穗数和千粒质量,最终提高产量。

行处理不仅提高了叶面积指数峰值,而且后期叶面积指数下降亦较平缓,这与本试验结果一致,说明缩小行距能够延缓后期叶片的早衰<sup>[16]</sup>。行距配置对冬小麦干物质生产和转运有显著影响,行距过窄或过宽均不利于地上干物质质量的积累和转运<sup>[5]</sup>。冬小麦全生育期干物质积累动态呈 S 形,可以用 Richards 曲线进行描述<sup>[17]</sup>。本试验所得的 Richards 曲线 *R*<sup>2</sup> 均大于 0.996,验证了以上结论。从特征参数来看,干物质积累平均速率与最终干物质质量呈正相关,这点与刘娟等<sup>[18]</sup>的研究结论一致。从本试验结果还可以看出,缩小行距使干物质积累初始速率增加。提高初始生长势可以促进渐增期的干物质生产<sup>[17]</sup>,这可能也是最终干物质质量增加的原因。

行距对产量及其构成因素的影响在不同穗型品种间存在差异。一般认为,多穗型品种以宽行产量最高,大穗型品种均以窄行产量最高<sup>[7, 19]</sup>。其原因在于窄行条播可有效地增加单位面积穗数<sup>[14]</sup>,而千粒质量和穗粒数却随之降低<sup>[20]</sup>。也有研究认为,不论大穗型与多穗型品种,采用缩小行距窄行匀播都较常规行距显著增产;增产的机制是在种植密度一致的条件下,窄行条播显著改善麦田空间结构,麦苗均匀分布,促进个体生长,提升群体叶面积指数与光合性能,导致最终产量增加 15% 以上,达到显著差异<sup>[6]</sup>。Chen 等<sup>[21]</sup>则认为,窄行距对产量的提高幅度较小。本试验发现,缩小行距使紧凑多穗型冬小麦品种成穗数、千粒质量和籽粒产量显著增加,穗粒数显著下降;成穗数增加是产量提高的主要原因。

行距的调控效应也受冬小麦株型的影响<sup>[22-23]</sup>。紧凑型品种,缩小行距有利于提高光能利用率<sup>[24]</sup>,同时减少个体间的竞争,进而提高产量<sup>[25]</sup>。因此,在选用行距时综合考虑穗型和株型 2 种因素更为合理。本试验虽有 2 a 的重复数据,但缺少不同类型的对比品种,在下一步的研究中应增加不同类型的品种做比较,以提高结论的准确性和代表性。

参考文献:

[1] Ali M, Ali L, Sattar M, et al. Improvement in wheat

表 3 行距对新麦 26 产量及其构成因素的影响

年度	行距/cm	千粒质量/g	穗粒数	产量/(kg/hm <sup>2</sup> )
2009—2010	15	48.22a	28.4b	7 848.7a
	20	46.54b	29.4a	7 539.7b
	25	45.93b	29.5a	7 460.3b
2010—2011	15	41.96a	33.8b	8 487.2a
	20	41.22b	36.9a	8 044.9b
	25	40.30c	37.9a	7 460.5c

3 结论与讨论

行距影响冬小麦群体动态变化。李娜娜等<sup>[7]</sup>研究认为,相同生育时期群体数量不论是分蘖成穗率高的中穗型还是分蘖成穗率低的大穗型品种,均表现为撒播>窄行>宽行。本试验结果表明,针对紧凑多穗型冬小麦品种,随行距的缩小相同生育时期群体数量呈增加趋势,成穗数和成穗率亦呈增加趋势。行距对冬小麦生育后期叶面积指数有明显影响。在冬小麦生长前期,行距大小对叶面积指数的影响并不大,而拔节后期叶面积指数随着行距的增大而减小<sup>[14]</sup>。董琦等<sup>[6]</sup>、杨文平等<sup>[15]</sup>研究认为,窄

- (*Triticum aestivum* L.) yield by manipulating seed rate and row spacing in Vehari zone[J]. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 2010, 20(4): 225-230.
- [2] Marshall G, Ohm H. Yield responses of 16 winter wheat cultivars to row spacing and seeding rate[J]. *Agronomy Journal*, 1987, 79(6): 1027-1030.
- [3] 刘丽平, 胡焕焕, 李瑞奇, 等. 行距配置和密度对冬小麦品种河农 822 群体质量及产量的影响[J]. *华北农学报*, 2008, 23(2): 125-131.
- [4] Hussain M, Mehmood Z, Khan M B, *et al.* Narrow row spacing ensures higher productivity of low tillering wheat cultivars[J]. *International Journal of Agriculture & Biology*, 2012, 14(3): 413-418.
- [5] 杨文平, 郭天财, 刘胜波, 等. 行距配置对大穗型小麦灌浆期干物质转移及籽粒灌浆特性的影响[J]. *华北农学报*, 2007, 22(6): 103-107.
- [6] 董琦, 王爱萍, 高志强. 行距配置对小麦光合性能与群体结构的影响[EB/OL]. [2014-04-15]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201101-1035>.
- [7] 李娜娜, 田奇卓, 裴艳婷, 等. 播种方式对两类小麦品种分蘖成穗及其产量构成的影响[J]. *麦类作物学报*, 2007, 27(3): 508-513.
- [8] 胡延吉, 兰进好. 不同时期 3 个主栽小麦品种干物质积累及分配特性的研究[J]. *山东农业大学学报: 自然科学版*, 1999, 30(4): 404-408.
- [9] Arduini I, Masoni A, Ercoli L, *et al.* Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate[J]. *European Journal of Agronomy*, 2006, 25(4): 309-318.
- [10] Dordas C. Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-sink relations[J]. *European Journal of Agronomy*, 2009, 30(2): 129-139.
- [11] 冯冬霞, 施生锦. 叶面积测定方法的研究效果初报[J]. *中国农学通报*, 2005, 21(6): 150-152, 155.
- [12] 朱庆森, 曹显祖, 骆亦其. 水稻籽粒灌浆的生长分析[J]. *作物学报*, 1988, 14(3): 182-193.
- [13] 邢黎峰, 孙明高. 生物生长的 Richards 模型[J]. *生物数学学报*, 1998, 13(3): 348-353.
- [14] 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.
- [15] 杨文平, 郭天财, 刘胜波, 等. 行距配置对‘兰考矮早八’小麦后期群体冠层结构及其微环境的影响[J]. *植物生态学报*, 2008, 32(2): 485-490.
- [16] 郭天财, 刘胜波, 冯伟, 等. 不同种植行距的大穗型小麦品种‘兰考矮早八’中几种与旗叶衰老有关的生理指标变化[J]. *植物生理学通讯*, 2008, 44(1): 33-36.
- [17] 李国强, 汤亮, 张文宇, 等. 不同株型小麦干物质积累与分配对氮肥响应的动态分析[J]. *作物学报*, 2009, 35(12): 2258-2265.
- [18] 刘娟, 熊淑萍, 杨阳, 等. 基于归一化法的小麦干物质积累动态预测模型[J]. *生态学报*, 2012, 32(17): 5512-5520.
- [19] 李娜娜, 李慧, 裴艳婷, 等. 行株距配置对不同穗型冬小麦品种光合特性及产量结构的影响[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(14): 2869-2878.
- [20] 李娜娜, 田奇卓, 王树亮, 等. 两种类型小麦品种分蘖成穗对群体环境的响应与调控[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(3): 289-297.
- [21] Chen S, Zhang X, Sun H, *et al.* Effects of winter wheat row spacing on evapotranspiration, grain yield and water use efficiency[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(8): 1126-1132.
- [22] 吴玉娥, 薛香, 郜庆炉, 等. 行距对超高产小麦产量和品质的影响[J]. *麦类作物学报*, 2004, 24(3): 84-86.
- [23] 薛香, 吴玉娥, 梁云娟, 等. 不同株型小麦功能叶片的光合速率及对粒重的影响[J]. *辽宁农业科学*, 2009(1): 7-9.
- [24] 刘兆晔, 于经川, 姜鸿明, 等. 小麦理想株型的探讨[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(8): 137-141.
- [25] 周勋波, 孙淑娟, 陈雨海, 等. 冬小麦不同行距下水分特征与产量构成的初步研究[J]. *土壤学报*, 2008, 45(1): 188-191.