植物营养与肥料学报 2011,17(4):823-830
Plant Nutrition and Fertilizer Science

密度与氮肥配合对垄沟覆膜栽培冬小麦干物质累积及产量的影响

师日鹏,上官宇先,马巧荣,王林权*
(西北农林科技大学资源环境学院,陕西杨凌 712100)

摘要:为协调冬小麦个—群体间关系,建立适宜的群体结构,充分发挥旱作条件下垄沟栽培优势,以小偃22为材料,采用二元二次旋转组合设计,通过2年田间试验研究了垄沟覆膜、垄下集中施肥模式下种植密度与施氮量对冬小麦个—群体间干物质累积及产量的影响。结果表明,个体干物质累积量随种植密度的增加呈降低趋势。2008～2009年群体干物质累积量随种植密度的增加而减小;2009～2010年群体干物质累积量随种植密度的增加而增加。花期单茎干物质累积量不受施氮量的影响;而成熟期个体干物质累积量随施氮量的增加而增加。冬小麦群体干物质累积量均随施氮量的增加而增加。冬小麦能够通过分蘖调节自身的群体结构,不能盲目地通过增加播种量增加小麦群体密度;适量的增施氮肥有利于个体与群体发育。本试验条件下,冬小麦品种小偃22在中等密度(112 kg/hm^2)与较高施氮量(N 201～214 kg/hm^2)配置时,个—群体关系比较协调,个体发育健壮,群体干物质累积量和产量较高。

关键词:垄沟覆膜;冬小麦;密度;个体与群体关系;干物质
中图分类号:S512.1$^+$1.062　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2011)04-0823-08

Effects of sowing density and N rate on biomass accumulation and yield of winter wheat in furrow and ridge film mulching

SHI Ri-peng, SHANGGUAN Yu-xian, MA Qiao-rong, WANG Lin-quan*
(*College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China*)

Abstract: The aim of this study was to harmonize the relationship between individual and population, and establish a suitable community structure, and fully apply the advantages of furrow and ridge cultivation in rainfed land areas. The successive two year field experiments were conducted to investigate the effects of sowing density and N rate on yield, and dry matter accumulation of individual and population of winter wheat in the furrow and ridge film mulching planting system. The central composite rotatable design with two factors of seeding density and N rate was used in the experiments. There were five levels of sowing density, 75, 85.95, 112.5, 139.04 and 150 kg/ha, and five N levels of N rates, 120, 137.57, 180, 222.43 and 240 kg/ha. The tested cultivar was Xiaoyan 22. The results show that the dry matter accumulation of individual winter wheat is significantly affected by sowing density, and the accumulation is decreased when the sowing density is increased. There are significant different dynamics of the dry matter accumulation of population in the two year experiments owing to difference weather. The dry matter accumulation of population is decreased as the sowing density is increases in 2009, while that is increased in 2010. Although there are no effects of nitrogen application on individual biomass at the anthesis stage, there are significant effects of N on biomass at the maturity stage. The nitrogen fertilization could increase the dry matter accumulation of population remarkably at the two stages. These results indicate that there are some effects of the sowing density and nitrogen rate on the dynamics of plant individual and population, the winter wheat has capacity to regulate their population according to environmental condition. Therefore, it could not to increase the population with higher

收稿日期:2010-12-21　　**接受日期**:2011-03-21
基金项目:国家自然科学基金项目(30571085)资助。
作者简介:师日鹏(1988—),男,陕西铜川人,硕士研究生,主要从事植物营养与生理生态研究。E-mail:pengshi7052@163.com
* 通讯作者 E-mail:linquanw@yahoo.com.cn

sowing density blindly. The efficient nitrogen application is benefit to the individual and population growth. Under this experiment condition, the medium sowing density (112 kg/ha) and the higher nitrogen rate (201 - 214 kg/ha) are benefit to optimize relationships of individual and group, and achieve a high biomass and yield.

Key words: ridge and furrow with mulching; winter wheat; planting density; individual and plant population relation; dry matter

随着工业化和城市化的快速发展,工业和生活用水逐渐增加,农业用水比重逐渐降低[1]。水资源不足及人口增长给农业生产带来了巨大压力,寻求开发旱农区相对丰富的土地资源成为满足粮食需求增长的重要途径[2]。旱区农业是我国农业的重要组成部分,干旱半干旱地约占全国耕地面积的51%,但其粮食产量长期处于低而不稳的状况[3],水、肥不足是限制该区农业生产的主要因素[2-4]。水肥协调供应是旱区农业稳步发展和中低产田治理的关键技术,只有协调水肥条件,才能促进旱作农业的可持续发展[2,4-5]。钟良平等[6]认为,地膜覆盖栽培已成为该区生产力跃升和稳定的主要驱动力之一。覆膜与传统的垄沟栽培技术相结合,通过集水、保墒、增温、保肥、抑制杂草、提高土壤微生物数量等来改善农田小环境[7-14],提高小麦分蘖数,促进个体生长以及光合产物累积和转运等[15-16],增加小麦产量[7-8],在我国北方已大面积推广应用,每年种植面积约700万公顷[9]。"氮肥后移"虽能显著提高小麦产量,提高肥料利用率[17-19],但肥料分次施用,增加了劳动力投入;且在旱作条件下,受环境因素的影响,不能保证适时适量的追肥。垄上覆膜、垄下集中施肥技术不仅能达到"氮肥后移"的目的,而且节省了劳动投入[16]。但是,垄沟覆膜栽培条件下,因单位播种面积减小,导致冬小麦群体密度较小,不利于小麦建立适宜的群体结构,影响其增产效应的发挥[16,20]。种植密度对冬小麦群体结构和产量的形成有显著的调控效应[21-23];合理施用氮肥能够提高小麦产量,改善子粒品质[17-19]。据此,通过二元二次旋转组合设计,研究了垄沟覆膜栽培、垄下集中施肥模式下,种植密度和施氮量对冬小麦不同生育期个—群体干物质累积量及产量的影响,寻求种植密度与施氮量的最佳组合,以较好地协调冬小麦个体与群体间关系,充分发挥旱作条件下垄沟覆膜栽培的优势,为旱作冬小麦高产、优质、高效栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2008年10月至2010年7月在西北农林科技大学农作一站进行。该站位于黄土高原南部,海拔520 m左右,属半湿润易旱区,年均降水量550～600 mm,且主要集中在7～9月,年均气温13℃。土壤类型为旱耕土垫人为土(红油土),耕层(0—20 cm)土壤基础养分含量:有机质为17.3 g/kg、碱解氮52.0 mg/kg、速效磷(P)11.6 mg/kg、速效钾(K)174.8 mg/kg、pH值为7.7。供试小麦品种为冬小麦小偃22。

试验采用二元二次正交旋转组合设计。种植密度以播种量(kg/hm^2)表示,设75 (D1)、85.95 (D2)、112.5 (D3)、139.04 (D4)、150 (D5) 5个水平;施氮量(N kg/hm^2)设120 (N1)、137.57 (N2)、180 (N3)、222.43 (N4)、240 (N5) 5个水平;其中D3N3为中心点处理,设8次重复,其它处理重复3次(表1)。小区面积14.4 m^2(3.6 m×4 m),每小区6垄,垄沟宽30 cm,垄宽30 cm,垄高15 cm。先开沟将肥料均匀条施,后覆土起垄,垄上覆膜。膜两侧各种1行,共计播种12行/小区。氮肥(尿素,含N ≥ 46%)施用按照设计方案进行;各处理施磷肥(过磷酸钙,含P_2O_5≥ 16%)作基肥,用量均为P_2O_5 120 kg/hm^2。不追肥,不灌水。

表1 二元二次正交旋转组合设计方案表
Table 1 The central composite rotatable design

处理 Treatment	种植密度编码值 Code (Density, kg/hm^2)	施氮量编码值 Code (N rate, kg/hm^2)
D4N4	1(139.04)	1(222.43)
D4N2	1(139.04)	-1(137.57)
D2N4	-1(85.95)	1(222.43)
D2N2	-1(85.95)	-1(137.57)
D5N3	1.414(150)	0(180)
D1N3	-1.414(75)	0(180)
D3N5	0(112.5)	1.414(240)
D3N1	0(112.5)	-1.414(120)
D3N3	0(112.5)	0(180)

1.2 测定项目与计算方法

开花期选择同天开花、发育正常的单茎60株

挂牌标记,分别于开花期和成熟期取 20 株,将穗(成熟期分离出子粒)、上三叶(包括旗叶、倒二叶和倒三叶)、下部叶、茎、叶鞘分开,在放入 105℃下杀青 30 min,然后于 75℃下烘干至恒重,称干物重。

在苗期选择 6 行长势均匀的小麦,共计 24 m(6×4 m)插杆标记,到成熟期,2008 ~ 2009 年在标记区域随机收获 2 行,8 m 测产,而 2009 ~ 2010 年随机取 2 行,6 m 测产(两头各去掉 0.5 m)。

个体地上部干物质积累总量 = 个体地上部各器官干物质积累总量之和;

群体地上部干物质积累总量 = 个体地上部干物质积累总量 × 单位面积(hm^2)茎数。

试验数据采用 Microsoft Excel 2007 进行统计分析和作图。

2　结果分析

2.1　种植密度与施氮量对垄沟覆膜栽培冬小麦开花期干物质累积的影响

2.1.1 对冬小麦开花期个体干物质累积的影响　以冬小麦开花期个体干物质累积量(y_i,g/plant)为因变量,种植密度(编码值 x_1,下同)和施氮量(编码值 x_2,下同)为自变量。分别求得两年冬小麦开花期个体干物质累积量与各因素的回归方程:

$$y_{i(08-09)} = 2.19 - 0.19x_1 - 0.04x_2 + 0.04x_1^2 \quad (1)$$

$$y_{i(09-10)} = 2.32 - 0.21x_1 - 0.03x_2 + 0.05x_1^2 \quad (2)$$

经检验,回归方程(1)和(2)的 F 值分别为 10.37 和 5.48,均大于 $F_{0.05} = 3.49$,总回归达显著水平。模型能够反映垄沟覆膜、垄下集中施肥模式下冬小麦开花期个体干物质累积量与种植密度和施氮量之间的关系。两年模型基本一致,种植密度的效应大于氮肥效应,二者无交互效应。当密度的编码值 $x_1 < 0$ 时,种植密度表现为正效应,个体干物质较大;反之,密度效应为负,个体干物质较小。为了探讨单因素对垄沟覆膜、垄下集中施肥模式下冬小麦开花期个体干物质累积量的影响,对方程(1)、(2)进行降维处理,得到二因素对冬小麦个体干物质累积量的子模型及效应图(图 1)。在试验设计范围内,冬小麦开花期个体干物质累积量随种植密度的增加而减小,表明低密度有利于冬小麦开花期个体干物质的累积;而施氮量对开花期个体干物质累积量无显著影响。

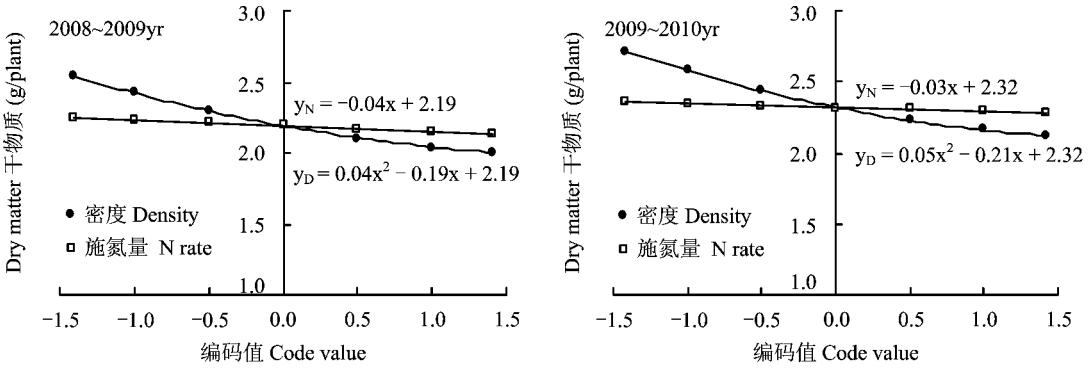

图 1　种植密度编码值与施氮量对冬小麦开花期个体干物质累积量的影响

Fig. 1　Effects of sowing density and N rate on dry matter of individual at the anthesis stage

2.1.2 对冬小麦开花期群体干物质累积的影响　以冬小麦开花期群体干物质累积量(y_p,t/hm^2)为因变量,种植密度和施氮量为自变量,建立开花期冬小麦群体干物质累积量与各因素的回归方程:

$$y_{p(08-09)} = 9.24 - 0.25x_1 + 0.87x_2 + 0.21x_1^2 \quad (3)$$

$$y_{P(09-10)} = 10.26 + 0.16x_1 + 0.75x_2 + 0.45x_2^2 \quad (4)$$

经检验回归方程(3)和(4)的 F 值分别为 8.20 和 5.01,均大于 $F_{0.05} = 3.49$,达显著水平。氮肥的效应显著大于种植密度。一次项 x_2 系数为正值,说明高施氮量(编码值 $x_2 > 0$)群体干物质较大;方程(3)一次项 x_1 系数为负值,而方程(4)为正值,说明种植密度对群体干物质累积的效应两年呈相反趋势,两因素无交互效应。对方程(3)、(4)进行降维处理,得到二因素对冬小麦群体干物质累积量的子模型及效应图(图 2)。在试验设计范围内,冬小麦群体干物质累积量随施氮量的增加而显著增加,说明施用氮肥有利于冬小麦开花期群体干物质的累积。而种植密度的效应则存在差异,2008 ~ 2009 年冬小麦开花期群体干物质累积量随种植密度的增加呈降低趋势,而 2009 ~ 2010 年随种植密度的提高,干物质累积量无明显变化。

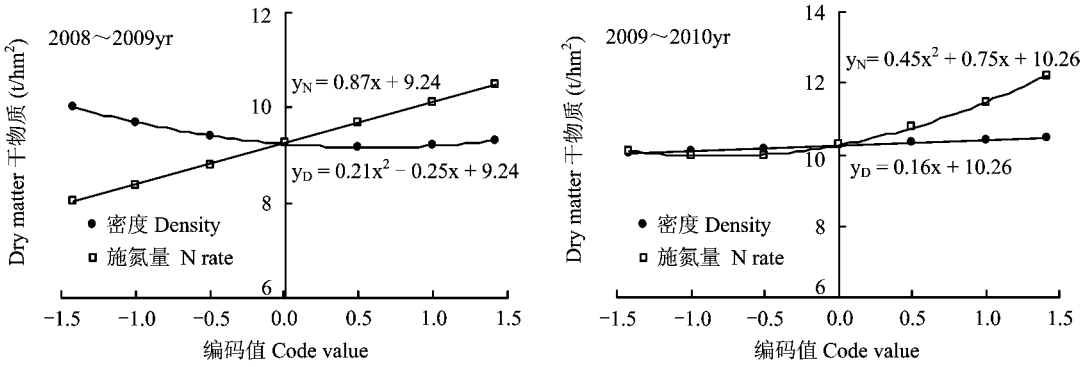

图2 种植密度与施氮量对冬小麦开花期群体干物质累积量的影响

Fig. 2 Effects of the sowing density and N rate on dry matter of population at the anthesis stage

2.2 种植密度与施氮量对垄沟覆膜栽培冬小麦成熟期干物质累积的影响

2.2.1 对冬小麦成熟期个体干物质累积的影响 成熟期冬小麦个体干物质累积量与种植密度和氮素的关系：

$$y_{i(08-09)} = 1.56 - 0.09x_1 + 0.04x_2 + 0.06x_1^2 \quad (5)$$

$$y_{i(09-10)} = 1.82 - 0.10x_1 + 0.07x_2 + 0.07x_1^2 \quad (6)$$

经检验回归方程(5)和(6)的 F 值分别为 6.87 和 12.79，均大于 $F_{0.05} = 3.49$，达显著水平。一次项 x_1 系数为负值，因此在低种植密度时，个体干物质较高；而一次项 x_2 系数为正值，即高施氮量时个体干物质较大，两因素无交互效应。对方程(5)、(6)进行降维处理，得到二因素对冬小麦成熟期个体干物质累积量的子模型及效应图(图3)。在试验设计范围内，冬小麦成熟期个体干物质累积量随施氮量的增加而增加；随种植密度的增加呈降低趋势。

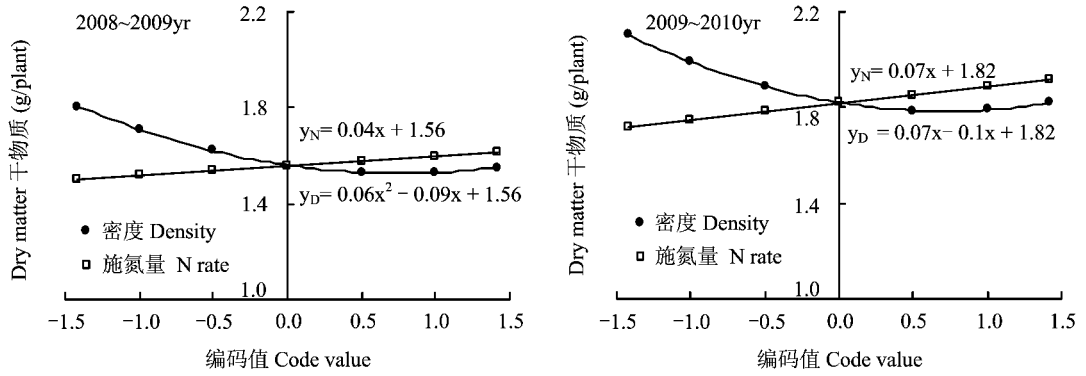

图3 种植密度与施氮量对冬小麦成熟期个体干物质累积量的影响

Fig. 3 Effects of the sowing density and N rate on dry matter of individual at the maturity stage

2.2.2 对冬小麦成熟期群体干物质累积的影响 冬小麦成熟期群体干物质累积量与二因素的关系：

$$y_{p(08-09)} = 6.83 - 0.64x_1 + 1.01x_2 + 0.39x_1^2 \quad (7)$$

$$y_{p(09-10)} = 8.62 + 0.57x_1 + 0.83x_2 + 0.19x_1^2 \quad (8)$$

经检验回归方程(7)和(8)的 F 值分别为 13.71 和 6.63，均大于 $F_{0.01} = 5.95$。表明模型能够反映垄沟覆膜、垄下集中施肥模式下冬小麦成熟期群体干物质累积量与种植密度和施氮量的关系，但2年模型存在差异。一次项 x_2 系数均为正值，说明施氮有利于提高群体干物质累积量，施氮量较高时，群体干物质较大；2008～2009年度，一次项 x_1 系数为负值，说明低种植密度时群体干物质较大，高种植密度时群体干物质较低；而2009～2010年度正好相反。

对方程(7)和(8)进行降维处理，得到二因素对冬小麦群体干物质累积量的子模型及效应图(图4)。2年冬小麦群体干物质累积量随施氮量增加而显著增加；但种植密度的效应呈相反趋势。2008～2009年冬小麦成熟期群体干物质累积随播种密度的增加而降低，而2009～2010年干物质累积量随播种密度增加而增加。

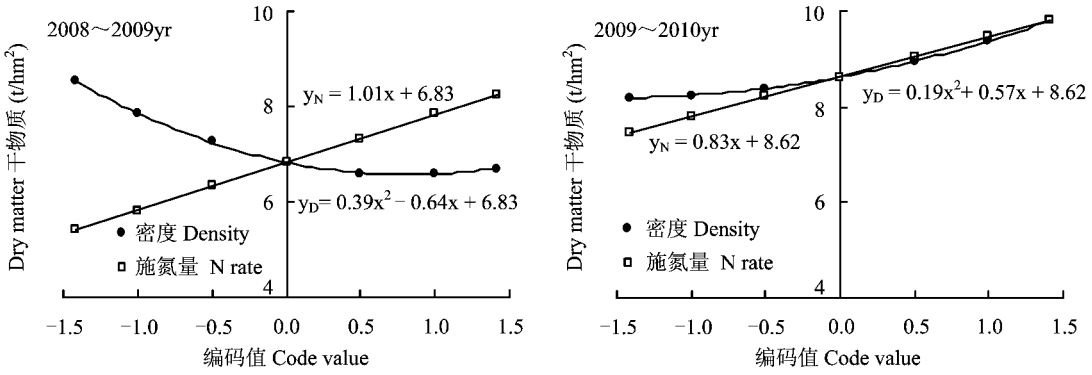

图 4　种植密度与施氮量对冬小麦成熟期群体干物质累积量的影响

Fig. 4　Effects of the sowing density and N rate on dry matter of population at the maturity stage

2.3　种植密度与施氮量对垄沟覆膜栽培冬小麦子粒产量的影响

以冬小麦成熟期子粒产量(y, t/hm²)为因变量,种植密度和施氮量为自变量。分别求得两年冬小麦子粒产量与各因素的回归方程:

$$y_{(08-09)} = 3.77 - 0.05x_1 + 0.12x_2 - 0.03x_1x_2 - 0.05x_1^2 - 0.07x_2^2 \quad (9)$$

$$y_{(09-10)} = 5.09 + 0.20x_1 + 0.27x_2 - 0.02x_1x_2 - 0.48x_1^2 - 0.27x_2^2 \quad (10)$$

经检验回归模型 F(9)和(10)值分别为 3.55 和 6.18,均大于 $F_{0.05} = 3.33$,说明模型能够反映垄沟覆膜栽培冬小麦产量与种植密度和施氮量之间的关系。2 年试验中氮素的作用一致,较高施氮量时产量较高;而密度效应则存在差异,2008 ～ 2009 年度在中低种植密度时产量较高,高种植密度时产量较低;而 2009 ～ 2010 年度,在中等密度取得较高产量。二次项系数均为负值,说明过高的种植密度或施氮量都不利于冬小麦获得高产。交互项 x_1x_2 系数小,说明密度与氮肥对小麦产量的交互效应较小,且为负效应。种植密度和施氮量对小麦产量的综合效应如图 5 所示,两年均呈开口向下的凸面体。

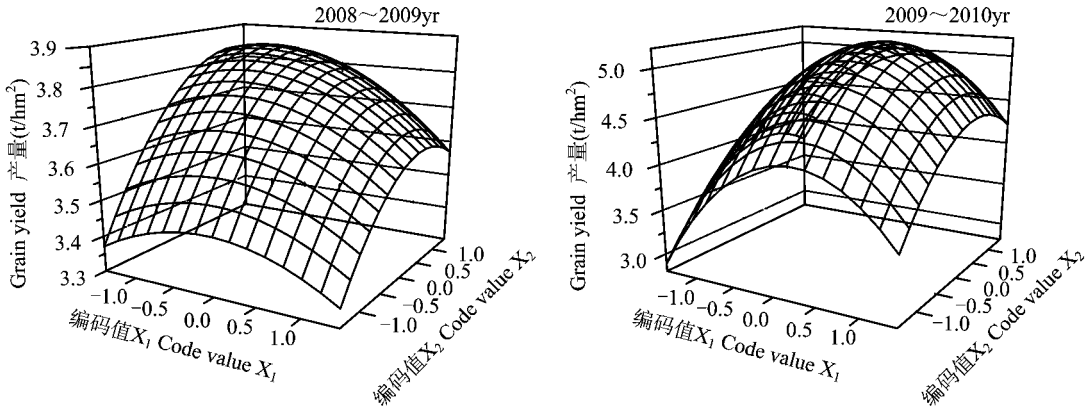

图 5　种植密度与施氮量对垄沟覆膜栽培冬小麦子粒产量的影响

Fig. 5　Effects of the sowing density and N rate on grain yield of winter wheat

对方程(9)和(10)进行降维处理,得到单因素对群体产量的子模型及效应图(图 6)。2008 ～ 2009 年在种植密度编码值为 -0.5 附近获得最高产量,继续增加种植密度产量降低;2009 ～ 2010 年在编码值为 0 附近取得最高产量,密度过高或过低都不利小麦获得较高产量。施氮量对小麦产量的影响一致,随施氮量的增加,小麦产量呈逐渐增加趋势,在编码值 0.5 左右获得最高产量,进一步增加施氮量,产量增加不显著,过高施氮量时,产量降低。

根据方程(9)、(10)对产量模型寻忧,得到超过平均产量的管理方案:2008 ～ 2009 年种植密度为 88.73 ～ 112.98 kg/hm², 施氮量为 N 201.08 ～ 220.62 kg/hm²;而 2009 ～ 2010 年种植密度为 112.57 ～ 123.06 kg/hm², 施氮量为 N 197.26 ～ 214.00 kg/hm²。综合 2 年试验结果看出,在供试条件下,中等种植密度(112 kg/hm²)和较高氮肥(N

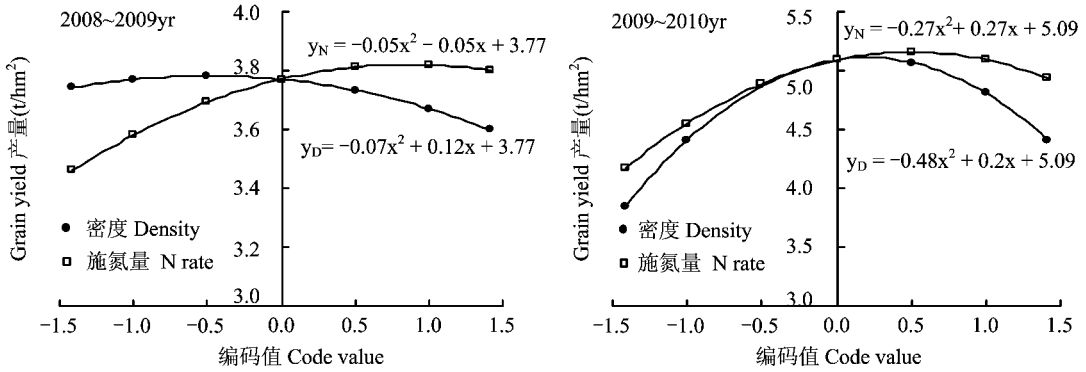

图6 种植密度与施氮量对垄沟覆膜栽培冬小麦子粒产量的影响

Fig. 6 Effects of the sowing density and N rate on grain yield of winter wheat

201～214 /hm²)配合时冬小麦子粒产量较高。

3 讨论与结论

种植密度是群体发育的基础,它在一定程度上决定了群体发育的动态[23]。适宜的种植密度能较好地协调个体与群体的矛盾,构建合理的群体结构,促进产量三要素的协调发展,使小麦能经济高效地利用光能和地力,达到高产、优质、低耗的目的。低密度处理冬小麦个体光合面积较大,光合功能期较长[24],单株二氧化碳同化量较大[25]。提高种植密度可以增大群体密度,但密度过高会导致群体透光率下降,单茎受光量降低,冠层光环境恶化,后期旗叶的羧化效率降低[23],导致个体生长较弱。合理施用氮肥可以促进冬小麦干物质累积[26],提高产量[17-19,34],但施氮量过高也不利于小麦的生长[27]。本试验表明,种植密度与施氮量对垄沟覆膜、垄下集中施肥模式下冬小麦的个—群体干物质累积和产量形成有明显的调控作用,但年际间存在差异。

随种植密度的增加,冬小麦个体干物质累积量呈降低的趋势,这与前人的研究结果一致[28-29]。但种植密度对群体干物质累积量的影响年际间存在差异。2008～2009年群体干物质累积量随种植密度的增加而减小;而2009～2010年群体干物质累积量随种植密度的增加而增加。气候条件的变化可能是导致差异的主要原因。2008～2009年冬小麦播种后温度较高,分蘖旺盛,单株分蘖达3.6个,冬前分蘖数平均达840×10⁴ 株/hm²,但个体发育差,成穗率较低,因此花期和成熟期群体干物质随种植密度的增加而减小。2009～2010年播种后温度低,冬小麦分蘖少,单株分蘖只有1.6个,但个体健壮,成穗率高,所以后期群体干物质累积量随种植密度的增加而增加。

施氮量对开花期个体干物质无显著影响,但能显著增加群体干物质累积。主要是施氮有利于冬小麦分蘖,且分蘖数随施氮量的增加而增加;施用氮肥可以提高花后旗叶叶绿素含量,延缓叶片光合功能的衰老进程,提高小麦光合物质生产能力[30-32],因此成熟期个体和群体干物质累积量均随施氮量的增加而增加。

种植密度虽对两年冬小麦个体和群体干物质累积的影响存在差异,但对产量的影响却表现出一致的效应。小麦产量的形成受单位面积穗数、穗粒数和千粒重共同作用。提高种植密度可以增加单位面积穗数,但穗粒数随种植密度的增加而减小[33-34]。种植密度过高,生育前期群体过大,养分消耗过度,造成无效分蘖增加;穗粒数减少和千粒重下降,单位面积穗数的增加就难以抵偿穗粒数和粒重下降的损失[35]。2年试验均在中等密度和较高施氮量配合下获得高产。可见,在特定生态系统中具有一定群体大小的麦田,当土壤养分充足时小麦通过自身的调控效应可以协调个体—群体关系,获得较高的群体效应。因此,不能盲目通过提高种植密度来增加产量。

本试验研究表明,在半干旱区垄上覆膜、垄下集中施肥模式下,冬小麦品种小偃22在种植密度为112 kg/hm²,施氮量为N 201～214 kg /hm² 时,个—群体关系比较协调,干物质和产量较高。

参 考 文 献:

[1] 吴普特,冯浩,牛文全,等. 中国用水结构发展态势与节水对策分析[J]. 农业工程学报,2003,19(1):1-6.
Wu P T, Feng H, Niu W Q *et al*. Analysis of developmental tendency of water distribution and water-saving strategies [J]. Tran. CSAE, 2003, 19(1): 1-6.

[2] 文宏达,刘玉柱,李晓丽,等. 水肥耦合与旱地农业持续发展

[J]. 土壤与环境,2002,11(3):315-318.
Wen H D,Liu Y Z, Li X L *et al*. Water and fertilizer coupling and dryland agricultural sustainable development [J]. Soil Environ. Sci., 2002, 11(3):315-318.

[3] Zhao C X, Shan L, Deng X P *et al*. Current situation and countermeasures of the development of dryland farming in China[J]. Tran. CSAE, 2004, 20(4):280-285.

[4] 郑昭佩,刘作新. 水肥耦合与半干旱区农业可持续发展[J]. 农业现代化研究, 2000,21(5):291-294.
Zheng S P,Liu Z X. Fertilizer coupled with water and agricultural sustainable development in semi arid areas [J]. Res. Agric. Modern., 2000, 21 (5):291-294.

[5] 马强,宇万太,沈善敏,张璐. 旱地农田水肥效应研究进展[J]. 应用生态学报,2007,18(3):666-671.
Ma Q, Yu W T, Shen S M, Zhang L. Research advances in water fertilizer effect on dry land farming [J]. Chin. J. Appl. Ecoly., 2007, 18(3):666-671.

[6] 钟良平,邵明安,李玉山. 农田生态系统生产力演变及驱动力[J]. 中国农业科学,2004,37(4):510-515.
Zhong L P, Shao M A, Li Y S. Changes of ecosystem productivity responding to driving forces in semiarid region [J]. Sci. Agric. Sin., 2004, 37(4):510-515.

[7] 王彩绒,田霄鸿,李生秀. 沟垄覆膜集雨栽培对冬小麦水分利用效率及产量的影响[J]. 中国农业科学,2004,37(2):208-214.
Wang C Y, Tian X H, Li S X. Effects of plastic sheet-mulching on ridge for rainwater-harvesting cultivation on WUE and yield of winter wheat [J]. Sci. Agric. Sin., 2004, 37 (2):208-214.

[8] 白丽婷,海江波,韩清芳,贾志宽. 不同地膜覆盖对渭北旱塬冬小麦生长及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010,28(4):135-139.
Bai L T, Hai J B, Han Q F, Jia Z K. Effects of mulching with different kinds of plastic film on growth and water use efficiency of winter wheat in Weibei Highland[J]. Agric. Res. Arid Areas, 2010, 28(4):135-139.

[9] Li F M, Song Q H, Jembac P K, Shi Y C. Dynamics of soil microbial biomass C and soil fertility in cropland mulched with plastic film in a semiarid agro-ecosystem [J]. Soil Biol. Bioch., 2004, 36:1893-1902.

[10] Li F M, Guo A H, Wei H. Effects of clear plastic mulch on yield of spring wheat [J]. Field Crops Res., 1999, 63:79-86.

[11] 温晓霞,韩思明,赵峰峡,等. 旱作小麦地膜覆盖生态效应研究[J]. 中国生态农业学报,2003,11(2):93-95.
Wen X X, Han S M, Zhao F X *et al*. Research on ecological effect of wheat with plastic in dry land [J]. Chin. J. Eco-Agric., 2003, 11(2):93-95.

[12] Ramakrishna A, Tam H M, Wani S P, Long T D. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam [J]. Field Crops Res., 2006, 95:115-125.

[13] 高亚军,杨君林,陈玲,等. 旱地冬小麦不同栽培模式、施氮量和种植密度土壤水分利用状况[J]. 干旱地区农业研究, 2007,25(3):45-50.
Gao Y J, Yang J L, Chen L *et al*. Effect of cultivation methods, N fertilizer rate and winter wheat planting density on soil water utilization in dryland [J]. Agric. Res. Arid Areas, 2007, 25 (3):45-50.

[14] 党占平,刘文国,周济铭,等. 渭北旱地冬小麦不同覆盖模式增温效应研究[J]. 西北农业学报,2007,16(2):24-27.
Dang Z P, Liu W G, Zhou J M *et al*. Effect of different mulch models on increasing soil temperature in winter wheat of Weibei dryland [J]. Acta Agric. Bor.-Occid. Sin., 2007, 16(2):24-27.

[15] 李华,王朝辉,王西娜,李生秀. 不同栽培模式对冬小麦产量形成及氮素吸收转运的影响[J]. 农业环境科学学报,2007, 26(1):369-374.
Li H, Wang Z H, Wang X N,Li S X. Effects of cultivation types on yield formation and nitrogen accumulation and remobilization for winter wheat [J]. J. Agro-Environ. Sci., 2007, 26(1):369-374.

[16] 邱临静,王林权,李生秀,张素霞. 旱地不同栽培模式和施肥方法对小麦光合产物积累运转的影响[J]. 土壤通报,2007, 38(3):513-518.
Qiu L J, Wang L Q, Li S X, Zhang S X. Effect of different cultivation models and fertilization patterns on the accumulation and transportation of photosynthate for wheat in rain-fed land [J]. Chin. J. Soil Sci., 2007, 38(3):513-518.

[17] 陈祥,同延安,亢欢虎,等. 氮肥后移对冬小麦产量、氮肥利用率及氮素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14 (3):450-455.
Chen X, Tong Y A, Kang H H *et al*. Effect of postponing N application on the yield, apparent N recovery and N absorption of winter wheat [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14(3):450-455.

[18] 裴雪霞,王秀斌,何萍,等. 氮肥后移对土壤氮素供应和冬小麦氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15 (1):5-9.
Pei X X, Wang X B, He P *et al*. Effect of postponing N application on soil N supply, plant N uptake and utilization in winter wheat[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2009, 15(1):5-9.

[19] 赵广才,常旭虹,杨玉双,等. 群体和氮肥运筹对冬小麦产量和蛋白质组分的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15 (1):16-23.
Zhao G C, Chang X H, Yang Y S *et al*. Grain yield and protein component response to plant density and nitrogen application strategies in winter wheat(*Tritcum aestivum* L.)[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2009, 15(1):16-23.

[20] 邱临静,周春菊,李生秀,等. 不同栽培模式和施肥方法对旱地冬小麦氮素吸收运转的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007,13(3):355-360.
Qiu L J, Zhou C J, Li S X *et al*. The effects of different cultivation models and fertilizer application methods on N absorption and translocation of dryland winter wheat [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(3):355-360.

[21] Jaime L, Josep M, Javier V *et al*. Seeding rate influence on yield and yield components of irrigated winter wheat in a Mediterranean climate [J]. Agron. J., 2004, 96: 1258-1265.

[22] Gooding M J, Pinyosinwat A, Ellis R H. Responses of wheat grain yield and quality to seed rate[J]. J. Agric. Sci., 2002, 138: 317-331.

[23] 赵会杰,邹琦,郭天财,等. 密度和追肥时期对重穗型冬小麦品种L906群体辐射和光合特性的调控效应[J]. 作物学报, 2002,28(2): 270-277.
Zhao H J, Zou Q, Guo T C *et al*. Regulating effects of density and top-dressing time of nitrogen on characteristics of radiation transmission and photosynthesis in canopy of massive-spike winter wheat variety L906 [J]. Acta Agron. Sin., 2002, 28(2): 270-277.

[24] 杨秀兰,牛一川,康辉. 不同播种密度对地膜小麦重要农艺性状的影响[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(6): 70-73.
Yang X L, Niu Y C, Kang H. Effect of different planting density on the main agronomic traits of film-mulched wheat[J]. Agric. Res. Arid Areas, 2007, 25(6): 70-73.

[25] 赵会杰,邹琦,郭天财,等. 密度和追肥时期对大穗型小麦^{14}C同化作用及其分配的调控效应[J]. 核农学报,2003,17(1): 67-72.
Zhao H J, Zou Q, Guo T C *et al*. Regulating effect of dry and top dressing time of nitrogen fertilizer on ^{14}C assimilation and distribution of assimilate of large-spike cultivar of wheat [J]. Acta Agric. Nucl. Sin., 2003, 17(1): 67-72.

[26] 郭栋,党廷辉,戚龙海. 黄土旱塬不同氮肥用量下冬小麦干物质累积和氮素吸收利用过程研究[J]. 水土保持学报,2008, 22(5): 138-141.
Guo D, Dang T H, Qi L H. Process study of dry matter accumulation and nitrogen absorption use of winter wheat under different N-fertilizer rates on dry highland of Loess Plateau[J]. J. Soil Water Conserv., 2008, 22(5): 138-141.

[27] 王东,于振文,李延奇,史桂萍. 施氮量对济麦20旗叶光合特性和蔗糖合成及子粒产量的影响[J]. 作物学报,2007,33(6): 903-908.
Wang D, Yu Z W, Li Y T, Shi G L. Effects of nitrogen fertilizer rate on photosynthetic character, sucrose synthesis in flag leaves and grain yield of strong gluten wheat Jimai 20 [J]. Acta Agron. Sin., 2007, 33(6): 903-908.

[28] 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.
Qu H J, Li J C, Shen X S *et al*. Effects of plant density and seeding date on accumulation and translocation of dry matter and nitrogen in winter wheat cultivar Lankao Aizao 8 [J]. Acta Agron. Sin., 2009, 35(1): 124-131.

[29] 朱翠林,李锐宁,张保军,等. 旱肥地密度对大穗型冬小麦品种生育特性及产量的影响[J]. 西北农业学报,2010,19(1): 71-75.
Zhu C L, Li R N, Zhang B J *et al*. Effect of planting density on growth characters and yield of winter wheat variety of big spike in dry land [J]. Acta Agric. Bor.-Occid. Sin., 2010, 19(1): 71-75.

[30] Lawlor D W, Kontturi M, Young A T. Photosynthesis by flag leaves of wheat in relation to protein, ribulose bisphosphate carboxylase activity and nitrogen supply [J]. J. Expt. Bot., 1989, 40: 43-52.

[31] Evans J R. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Plant Physio., 1983, 72: 292-302.

[32] 冯波,刘延忠,孔令安,等. 氮肥运筹对垄作小麦生育后期光合特性及产量的影响[J]. 麦类作物学报,2008,28(1): 107-112.
Feng B, Liu Y Z, Kong L A *et al*. Effects of nitrogen application strategy on photosynthetic characteristics an grain yield of wheat with bed planting[J]. J. Trit. Crops, 2008, 28(1): 107-112.

[33] 张均华,刘建立,吕菲,李慧霞. 施氮对稻麦轮作区小麦地上器官干物质及氮素累积运转的影响[J]. 麦类作物学报, 2009,29(5): 892-896.
Zhang J H, Liu J L, Lü F, Li H X. Effect of nitrogen application on accumulation and transportation of matter and nitrogen in above-ground organs of wheat in rice-wheat rotation area [J]. J. Trit. Crops, 2009, 29(5): 892-896.

[34] 赵广才,常旭虹,杨玉双,等. 基本苗数和底追肥比例对冬小麦子粒产量和蛋白质组分的影响[J]. 核农学报,2008,22(5): 712-716.
Zhao G C, Chang X H, Yang Y S *et al*. Response of grain yield and protein to number of basic seeding and ratio of base to top-dressing nitrogen in winter wheat(*Tritcum aestivum* L.)[J]. J. Nucl. Agric. Sci., 2008, 22(5): 712-716.

[35] 赵会杰,薛延丰,董中东,等. 密度及追氮时期对大穗型小麦旗叶及子粒碳水化合物代谢的影响[J]. 河南农业大学学报,2004,38(1): 1-4.
Zhao H J, Xue Y F, Dong Z D *et al*. Influence of density and topdressing time of nitrogen fertilizer on carbohydrate metabolism in leaf and grain of large-ear cultivar of high-yielding winter wheat [J]. J. Henan Agric. Univ., 2004, 38(1): 1-4.