

不同群体下小麦花期干物质转运和冠层光分布特性研究

张黛静,王 真,李雪梅,马 雪,王多多,张艳艳,李春喜*
(河南师范大学 生命科学学院,河南 新乡 453007)

摘要: 为研究不同群体条件下小麦开花期干物质转运及光分布特性,以半冬性周麦 22 和弱春性郑麦 9023 为试验材料,研究了 2 个品种在不同群体条件下开花期分层干物质转运、光分布、光能利用和产量的差异。结果表明,在 2 个小麦品种群体中,40~60 cm 冠层单株干物质转运量、冠层截获光合有效辐射(PAR)及其对籽粒的贡献率优于其他冠层。半冬性周麦 22 地上部干物质对籽粒贡献率以及产量三要素都优于弱春性郑麦 9023。

关键词: 小麦;不同群体;开花期;冠层;光分布

中图分类号: S512.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2015)10-0024-05

Study on Dry Matter Transportation and Light Distribution in Canopy of Different Wheat Population in Flowering Stage

ZHANG Daijing, WANG Zhen, LI Xuemei, MA Xue, WANG Duoduo, ZHANG Yanyan, LI Chunxi*
(College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

Abstract: The difference of dry matter transportation, light distribution, light utilization and yield of different populations of two wheat cultivars during the flowering stage were studied with feeble-spring variety Zhengmai 9023 and semi-winter variety Zhoumai 22 as material. The results showed that, among different population of the two wheat cultivars, dry matter transformation of single stem, layered PAR of 40—60 cm canopy stratification, as well as the contribution of 40—60 cm dry matter to grains were better than the other parts. To analyze two wheat varieties, contribution of dry matter above ground to grains and three yield factors of Zhoumai 22 were higher than that of Zhengmai 9023.

Key words: wheat; different population; flowering stage; canopy; light distribution

河南省是我国主要的小麦产区之一。受全球气候变暖的影响,河南省近年来 0℃ 等温线向北、向西偏移^[1]。气温升高,作物生长发育速度加快、分蘖增多、生育期缩短,无效分蘖也随之增加,养分和水分的消耗加速,不利于资源高效利用^[2]。如何通过改变作物品种、群体、农耕措施等方法减少气候因素的负面影响,许多学者从作物品种株型、行距、株距造成的冠层结构差异及冠层光能利用等方面进行了广泛研究,取得了一定进展^[3-8]。本研究拟选用河

南省生产上主栽的高产小麦新品种,通过设置不同栽培措施研究其群体差异,从而确定合理冠层结构,改善小麦内部光分布,提高光能利用率,为河南省小麦的持续高产提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地点和试验设计

本试验于 2012—2013 于河南省许昌县曹乡史庄村小麦试验田进行。土壤质地为黏壤土,耕层有

收稿日期:2015-03-24
基金项目:国家“十二五”科技支撑计划项目(2013BAD07B07, 2012BAD04B07);河南省重点科技攻关计划项目(142102110056)
作者简介:张黛静(1974-),女,河南辉县人,副教授,博士,主要从事小麦栽培生理研究。E-mail:zdjdai@163.com
* 通讯作者:李春喜(1964-),男,河南封丘人,教授,博士,主要从事小麦栽培生理研究。

机质含量 12.61 g/kg,全氮 1.89 g/kg,速效氮 26.20 mg/kg,全磷 1.02 g/kg,速效钾 130.23 mg/kg。

试验采用裂区设计,不同冬春性小麦品种为主区:分别为半冬性周麦 22(A1)和弱春性郑麦 9023(A2);不同群体条件为副区,设置 180×10^4 株/hm²(D1)、 270×10^4 株/hm²(D2)、 360×10^4 株/hm²(D3)、 450×10^4 株/hm²(D4)4 个处理,随机排列,3 次重复。按常规高产栽培技术进行全生育期间管理。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 分层干物质运转量、运转率、贡献率 于开花期和成熟期取样,每处理取 20 个单茎,3 次重复,按地面以上 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm 分层,分别洗净、烘干,测定单茎干物质质量。

计算参考杜金哲等^[9]的方法:营养器官花前贮藏干物质运转量(TA)(g/茎)=开花期营养器官干物质质量-成熟期营养器官干物质质量;营养器官花前贮藏干物质运转率(TP)=营养器官花前贮藏干物质运转量/开花期干物质质量×100%;营养器官对籽粒产量的贡献率=花前贮藏物质运转量/成熟期籽粒干物质质量×100%。

1.2.2 冠层截获光合有效辐射(PAR) 采用 Sunscan 冠层分析仪测定,开花期选择晴天 9:00—11:00,于离地 20 cm、40 cm、60 cm 处分别测定各层的 PAR,测定 5 次,求平均值。计算冠层消光系数(K)和透光率(LPR),其中 $K = -\ln(TPAR/PAR)/LAI$, $LPR = TPAR/PAR \times 100\%$,TPAR 为冠层底部瞬时光合有效辐射,PAR 为冠层顶部瞬时光合有效辐射。

1.2.3 光能利用率(RUE) 计算公式:

$$RUE = \frac{HW}{\sum Q} \times 100\%$$

其中:H 为每克干物质燃烧时释放的热量,小麦籽粒为 17.8 MJ/kg,茎叶为 14.6 MJ/kg。W 为测定期间平均干物质增量; $\sum Q$ 为生育期间单位面积太阳总辐射逐日累加。利用埃斯屈朗方程将日照时数

转换为日辐射量:
埃斯屈朗方程: $RI = RA(aA + bA \cdot n/N)$
式中,RI 为实测太阳辐射,RA 为晴天状态下地面总辐射,n/N 为实际日照时数与日长之比,aA 和 bA 和地理位置季节有关,本研究中取值 $aA = 0.23$, $bA = 0.47$,秋冬取值 $aA = 0.16$, $bA = 0.55$ ^[10-11]。

1.3 考种及测产

小麦成熟后,随机选择 30 个单茎,于室内考种,测定样品的穗长、穗粒数和千粒质量。各试验小区取 3 m²,收割晾晒,脱粒测产。

1.4 气象数据

气象数据由河南省气象局提供,试验地 2012—2013 年小麦生育期≥0℃的积温为 2 073.9℃,降水量 213.5 mm,日照时数 914.5 h。

1.5 数据统计与分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 21.0 进行数据整理和方差分析。多重比较均为 LSD 法,小写和大写字母分别表示在 0.05 和 0.01 水平达到显著差异。

2 结果与分析

2.1 不同群体下小麦干物质转运量及其对籽粒贡献率

2.1.1 分层干物质转运量和转运率 由表 1 可知,2 个品种分层干物质转运量和转运率在不同密度条件下表现不同。周麦 22 0~80 cm 层的干物质转运量总体表现为:D2>D4>D3>D1,在 D1、D2、D3 群体条件下高于郑麦 9023;而郑麦 9023 0~80 cm 的转运量表现为:D2>D3>D4>D1,2 个品种均以 40~60 cm 层内的干物质转运量最高,与其他分层相比差异显著。0~80 cm 层的干物质转运率周麦 22 表现为:D3>D4>D2>D1,郑麦 9023 为:D3>D2>D4>D1,周麦 22 除了在 D2 处理下 20~40 cm 分层干物质转运率最大外,其他处理下均为 60~80 cm 分层最高,而郑麦 9023 干物质转运率均表现为 60~80 cm 分层最高。

表 1 不同群体下单茎分层干物质转运量与转运率的变化

品种	分层/cm	D1		D2		D3		D4	
		TA/g	TP/%	TA/g	TP/%	TA/g	TP/%	TA/g	TP/%
周麦 22	0~20	0.03c	6.67	0.10c	24.39	0.10bc	30.31	0.24b	47.83
	20~40	0.06b	15.79	0.22b	59.46	0.16b	42.11	0.08c	22.86
	40~60	0.81a	28.57	0.82a	45.3	0.85a	53.13	0.82a	55.03
	60~80	0.02c	45.25	0.30c	53.57	0.06c	66.67	0.11c	61.54
郑麦 9023	0~20	0.04c	11.11	0.18c	60.02	0.18b	60.05	0.10b	32.26
	20~40	0.21b	30.82	0.21bc	51.16	0.18b	66.67	0.13b	51.97
	40~60	0.45a	59.98	0.58a	51.79	0.77a	54.23	0.93a	62.42
	60~80	0.18b	63.64	0.22c	77.78	0.05c	76.92	0.01c	76.92

2.1.2 分层干物质对籽粒贡献率 由表 2 可知,除个别分层外,周麦 22 0~80 cm 分层干物质对籽粒的贡献率大于郑麦 9023,2 个品种小麦的分层干物质在不同密度下对籽粒的贡献率不同,但都以 40~60 cm 分层贡献率最大,这与其干物质转运量表现一致。

表 2 不同群体下小麦分层干物质对籽粒贡献率 %					
品种	分层/cm	D1	D2	D3	D4
周麦 22	0~20	16.31	19.52	15.35	15.35
	20~40	19.31	17.62	17.67	17.11
	40~60	76.82	86.19	74.42	65.35
	60~80	30.04	26.67	24.86	20.09
郑麦 9023	0~20	12.88	12.86	12.56	10.96
	20~40	14.16	14.29	13.95	13.60
	40~60	62.66	53.33	66.05	65.35
	60~80	15.45	20.48	30.23	25.70

2.2 不同群体下小麦花期光分布特征

2.2.1 分层 PAR 表 3 显示,2 个品种总体上 PAR 截获量随植株高度增加呈现“上强下弱”的垂直分布特征。40~60 cm 分层截获的 PAR 大于 0~20 cm、20~40 cm、60~80 cm,说明 40~60 cm 为冠层光分布的主要区域。

2.2.2 消光系数和透光率 分析图 1,周麦 22 和郑麦 9023 2 个小麦品种的消光系数和透光率都随着群体增加而呈现减小的趋势。不同品种间,周麦 22 各群体的透光率差别不大,而郑麦 9023 不同群体间差别比较明显。4 个群体下周麦 22 的消光系数明显高于郑麦 9023,但透光率 D1、D2 处理下郑麦 9023 分别比周麦 22 高出 1.38%、5.43%,而 D3、D4 处理下郑麦 9023 透光率又分别比周麦 22

低 12%、35%。

表 3 不同群体下小麦开花期分层瞬时 PAR 的变化
mol/(m²·s)

品种	密度	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	60~80 cm
周麦 22	D1	333.34a	571.29a	1 272.37b	939.03b
	D2	325.64b	568.93b	1 259.03c	943.39b
	D3	282.47bc	547.76c	1 280.39b	997.92a
	D4	279.86c	548.54c	1 286.72a	1 006.86a
郑麦 9023	D1	345.24ab	624.15b	1 250.11c	904.87d
	D2	350.61a	673.80a	1 298.22b	947.61c
	D3	333.63b	613.29bc	1 314.50a	980.87b
	D4	238.29c	576.81c	1 248.77c	1 010.48a

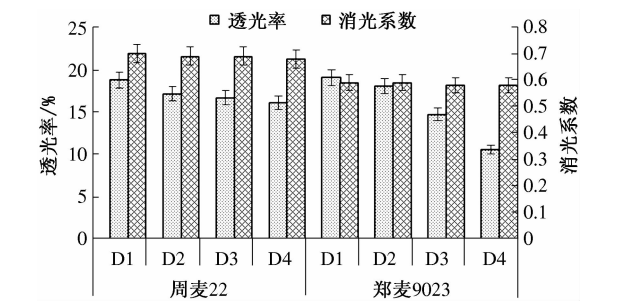


图 1 不同小麦群体开花期消光系数和透光率的变化

2.2.3 光能利用率 由表 4 可知,以孕穗—开花时期光能利用率最大,说明在此阶段为干物质增加的关键时期。2 个小麦品种不同群体的籽粒光能利用率在 D1、D2 处理下随密度的升高而升高,D3 时达到最大,随之又降低。周麦 22 地上部籽粒光能利用率 D3 处理比 D4 处理高 21%,郑麦 9023 的籽粒光能利用率也是以 D3 处理最高,比 D4 高 3%。由此说明,在一定范围内,籽粒光能利用率随着密度的增加而提高,若密度继续增加反而成为提高籽粒光能利用率的限制因素。

表 4 不同小麦群体光能利用率变化 %

品种	密度	群体光能利用率				籽粒光能利用率
		拔节—孕穗期	孕穗—开花期	开花—灌浆期	灌浆—成熟期	
周麦 22	D1	0.199±0.04Dd	2.353±0.12Bb	0.689±0.07Cc	0.296±0.01Bb	0.412±0.00Cc
	D2	0.200±0.02Cc	2.412±0.09Bb	0.712±0.00Bb	0.321±0.01Aa	0.456±0.08Bb
	D3	0.205±0.01Bb	2.566±0.05Bb	0.745±0.09Aa	0.332±0.03Aa	0.478±0.02Aa
	D4	0.231±0.00Aa	2.987±0.11Aa	0.655±0.04Dd	0.279±0.00Cc	0.395±0.01Dd
郑麦 9023	D1	0.188±0.06Bb	2.312±0.06Bb	0.654±0.01Cc	0.300±0.05Cc	0.373±0.06Cc
	D2	0.190±0.08Bb	2.415±0.08Bb	0.697±0.05Bb	0.309±0.01Bb	0.399±0.03Bb
	D3	0.192±0.01Bb	2.654±0.04Aa	0.714±0.03Aa	0.318±0.02Aa	0.432±0.02Aa
	D4	0.198±0.06Aa	2.733±0.08Aa	0.691±0.02Bb	0.296±0.03Dd	0.421±0.01Aa

2.3 不同群体下小麦品种产量及产量性状比较

由表 5 可知,2 个小麦品种的产量随着密度的增加均呈现先增加后减小的变化趋势,周麦 22 和郑麦 9023 分别以 D2、D3 密度水平下产量最高,分别

为 8 263、7 575 g/hm²。郑麦 9023 在 D1、D2 密度下的穗长高于周麦 22,成穗率在各密度下均高于周麦 22,但千粒质量、穗粒数均低于周麦 22,最终的产量不及周麦 22。

表 5 不同小麦群体产量及产量性状测定结果

品种	密度	产量/(kg/hm ²)	穗长/cm	穗粒数	千粒质量/g	成穗率/%
周麦 22	D1	6 996 ± 20. 10d	10. 39 ± 1. 2c	32. 37 ± 3. 5a	36. 39 ± 3. 1b	43. 22
	D2	8 263 ± 45. 25a	12. 27 ± 0. 5b	31. 65 ± 1. 4b	38. 16 ± 0. 9a	43. 13
	D3	7 772 ± 65. 12b	12. 58 ± 0. 6a	31. 13 ± 5. 3c	34. 29 ± 1. 5c	40. 00
	D4	7 318 ± 23. 63c	12. 25 ± 1. 2b	30. 25 ± 3. 5d	33. 97 ± 1. 6c	33. 46
郑麦 9023	D1	6 708 ± 47. 25c	12. 78 ± 1. 1b	30. 30 ± 4. 8a	32. 36 ± 2. 1b	53. 94
	D2	7 359 ± 4. 22a	13. 26 ± 0. 8a	27. 20 ± 5. 6d	33. 72 ± 2. 2a	52. 31
	D3	7 575 ± 45. 63a	12. 36 ± 0. 9c	29. 60 ± 1. 5b	34. 07 ± 1. 6a	47. 56
	D4	7 068 ± 56. 42b	13. 10 ± 1. 0a	28. 56 ± 6. 2c	33. 32 ± 1. 4a	46. 70

3 结论与讨论

我国冬小麦种植区受全球气候变化的影响,出现明显的向北扩大的趋势,通过天气模型模拟发现:我国冬小麦的生育期平均减少 7.3 d,春小麦的生育期平均减少 10.5 d,春小麦减产的幅度比冬小麦大,气候变化还会使我国雨养小麦的生产潜力减少 5%^[10-12]。邱美娟等^[13]研究发现,华北平原冬小麦的开花期和成熟期随着年代的推进而日益提前。所以亟待改善小麦种植方式,优化群体结构来适应气候变化。本研究中半冬性品种周麦 22 的适宜群体为 270 × 10⁴ 株/hm² (D2) 左右,弱春性郑麦 9023 为 360 × 10⁴ 株/hm² (D3) 左右。

作物的冠层形态结构是由作物地上部与环境因子互相作用的结果,冠层结构可直接影响作物群体的受光能力和作物生产力^[14]。种植方式可影响冠层结构,还能显著调节群体微环境,最终影响群体光合效率和产量^[15-16]。适宜群体结构有利于群体通风、透光,可增加光合产物,实现源、库、流的平衡与协调,保证生育后期产量形成时具有较高的供给源,奠定高产基础^[17]。Vesala 等^[18]认为,植物冠层截获 PAR 的量决定着其固定 CO₂ 的能力,显著影响植物的干物质积累。消光系数可以较好地说明群体受光结构、光分布、干物质生产,叶倾角对光分布的影响间的关系^[19],王之杰等^[20]发现,多穗型品种豫麦 49 在超高产条件下以 150 × 10⁴ 株/hm² 处理的冠层结构最优,表现为叶面积指数大小适中,叶片分布均匀,冠层消光系数分布合理,光能利用率较高。张永平等^[21]的研究表明,对冠层中下部来说,维持一定的漏光损失有利于小麦高产。在本研究中,较大群体下,单位面积个体数量越多,单株干物质积累量越少。在 2 个小麦品种群体中,除了开花期,郑麦 9023 的消光系数普遍低于周麦 22,且 40 ~ 60 cm 分层单株干物质积累量、转运量、冠层截获 PAR 及其对籽粒贡献率与其他分层相比表现最佳。

从品种上来看,本研究中,半冬性周麦 22 的单

株干物质积累量、地上部干物质对籽粒贡献率以及产量三要素都优于弱春性郑麦 9023。生产上可以通过农艺措施保持小麦冠层 40 ~ 60 cm 优势,优化小麦空间结构,提高其干物质生产能力和光能利用率,从而进一步提高小麦产量。

参考文献:

[1] 成林,刘荣花,王信理. 气候变化对河南省灌溉小麦的影响及对策初探[J]. 应用气象学报,2012,23(5): 571-577.

[2] 熊伟,许吟隆,林而达. 气候变化导致的冬小麦产量波动及应对措施模拟[J]. 中国农学通报,2005,21(5): 380-385.

[3] Flénet F, Kiniry J R, Board J E, *et al.* Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean, and sunflower [J]. Agronomy Journal, 1996, 88 (2): 185-190.

[4] Maddonni G A, Otegui M E, Cirilo A G. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation [J]. Field Crops Research, 2001, 71(3): 183-193.

[5] 吕丽华,陶洪斌,夏来坤,等. 不同种植密度下的夏玉米冠层结构及光合特性[J]. 作物学报,2008,34(3): 447-455.

[6] 陈雨海,余松烈,于振文. 小麦生长后期群体光截获量及其分布与产量的关系[J]. 作物学报,2003,29(5): 730-734.

[7] 赵会杰,郭天财. 大穗型高产小麦群体的光照特征和生理特性研究[J]. 河南农业大学学报,1999,33(2): 101-105.

[8] 张双利,王晨阳,郭天财,等. 行距配置对高产冬小麦群体质量及产量的影响[J]. 河南科学,2010,28(6): 689-692.

[9] 杜金哲,李文雄,胡尚连,等. 春小麦不同品质类型氮的吸收、转化利用及与籽粒产量和蛋白质含量的关系[J]. 作物学报,2001,27(2): 253-260.

[10] 徐金芳,邓振镛,王强. 中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施[J]. 生态学报,2010,30(22): 6278-6288.

- [11] 田展,梁卓然,史军,等.近 50 年气候变化对中国小麦生产潜力的影响分析[J].中国农学通报,2013,29(9):61-69.
- [12] 张宇,王石立,王馥棠.气候变化对我国小麦发育及产量可能影响的模拟研究[J].应用气象学报,2000,11(3):264-270.
- [13] 邱美娟,刘建栋,邬定荣,等.华北冬小麦开花及成熟期变化特征分析[J].干旱地区农业研究,2014(3):250-255.
- [14] 吕丽华,陶洪斌,夏来坤,等.不同种植密度下的夏玉米冠层结构及光合特性[J].作物学报,2008,34(3):447-455.
- [15] Jost P H, Cothren J T. Growth and yield comparisons of cotton planted in conventional and ultra-narrow row spacings[J]. Crop Science, 2000, 40(2):430-435.
- [16] De Bruin J L, Pedersen P. Effect of row spacing and seeding rate on soybean yield[J]. Agronomy Journal, 2008, 100(3):704-710.
- [17] 王振林,贺明荣.源库调节对灌溉与旱地小麦开花后光合产物生产和分配的影响[J].作物学报,1999,25(2):162-168.
- [18] Vesala T, Markkanen T, Palva L, et al. Effect of variations of PAR on CO₂ exchange estimation for Scots pine [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2000, 100(4):337-347.
- [19] Monsi M, Saeki T. Über den lichtfaktor in den pflanzengesellschaften und seine bedeutung für die stoffproduktion [J]. Japanese Journal of Botany, 1953, 14:22-52.
- [20] 王之杰,郭天财,王化岑,等.种植密度对超高产小麦生育后期光合特性及产量的影响[J].麦类作物学报,2001,21(3):64-67.
- [21] 张永平,王志敏,王璞,等.冬小麦节水高产栽培群体光合特征[J].中国农业科学,2003,36(10):1143-1149.

(上接第 11 页)

- [28] Liu F Y, Chang Y S. Ethephon treatment promotes flower formation in *Bougainvillea* [J]. Botanical Studies, 2011, 52(2):183-189.
- [29] 唐玉贵,朱积余,黄亚光,等.宝巾花花期调控技术研究[J].西部林业科学,2006,35(1):36-38.
- [30] 梁瑞娟,张育森.遮荫与生长调节剂对九重葛生长及开花之影响[J].中国园艺,1998,44(4):429-437.
- [31] Saifuddin M, Hossain A, Osman N, et al. Pruning impacts on shoot-root-growth, biochemical and physiological changes of *Bougainvillea glabra* [J]. Australian J Crop Sci, 2010, 4(7):530-537.
- [32] Liu Y, Chang Y S. Effects of shoot bending on ACC content, ethylene production, growth and flowering of *Bougainvillea* [J]. Plant Growth Regulation, 2011, 63:37-44.
- [33] 王景燕,龚伟,胡庭兴,等.光叶子花不同叶位叶片叶绿素含量和光合作用研究[J].四川林业科技,2006,27(6):51-54.
- [34] Moneruzzaman K, Hossain A, Normaniza O, et al. Effects of young leaves and kinetin on inflorescence development and bract enlargement in *Bougainvillea glabra* var. 'Elizabeth Angus' [J]. Australian J Crop Sci, 2010, 4(7):467-473.
- [35] 梁慧.云南德宏州三角梅栽培管理及应用技术[J].现代园艺,2012(1):39-41.
- [36] 刘芳吟.生长调节剂对九重葛及百香果生长及开花之影响[D].台北:台湾大学,2010.
- [37] Tse A T, Ramina A, Hackett W P, et al. Enhanced inflorescence development in *Bougainvillea* "San Diego Red" by removal of young leaves and cytokinin treatments [J]. Plant Physiology, 1974, 54(3):404-411.
- [38] 韦惠师.三角梅花期调控技术初探[J].广西热带农业,2010(4):61-62.
- [39] 李旺南.三角梅落地栽植花期控制技术[J].福建热作科技,2012,37(3):46-48.
- [40] 黄孙科.广西高速公路三角梅养护技术及花期调控[J].中国新技术新产品,2009(21):196.
- [41] 严海深,黄亚光.山坡种植宝巾花及其控花技术[J].广西热带农业,2010(5):74-76.
- [42] 陈涛.簕杜鹃的生物学特性和种植技术要点[J].广东园林,2011,33(5):34-36.
- [43] 唐源江,武小燕.几个三角梅品种光合作用日变化的比较研究[J].北方园艺,2011(12):74-77.