

水氮耦合对滴灌春小麦干物质积累分配与运转规律的影响

张松超, 陈慧, 黄振江, 张迪, 石元强, 王冀川* (塔里木大学植物科学学院, 新疆阿拉尔 843300)

摘要 [目的]明确滴灌春小麦干物质积累与分配特征的水氮效应。[方法]以新春6号为供试材料,设置不同的灌水、施氮处理,对小麦植株各器官干物质积累及分配进行研究。[结果]春小麦地上部分干物质积累量呈“S”形变化,积累速率最大时期在拔节期—灌浆期。总干质量积累较大的处理为 W_3N_2 、 W_2N_2 、 W_2N_3 和 W_3N_1 ,分别达15.16、14.63、13.25和13.19 t/hm²。生育期内, N_2 处理的总干物质量、茎秆和穗器官干物质平均转移率分别为14.06 t/hm²、45.34%和30.83%,而成熟期内 W_2 处理的相应值分别为13.47 t/hm²、31.14%和60.80%,均明显高于其他处理。各因素的总干物质积累影响效应从大到小依次为水氮耦合、水分、氮素,对穗部干物质影响效应从大到小依次为水氮耦合、氮素、水分。[结论]水氮耦合调控效应是调节滴灌春小麦生长的主要因素,生产中,采用中氮适水策略,保证生育前期的充足水分、中后期的适当氮素水平是促进春小麦健壮生长、提高产量的关键。

关键词 春小麦;水氮耦合;干物质;积累;分配

中图分类号 S512.1⁺2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)19-0038-05

Effects of Water and Nitrogen Coupling on Dry Matter Accumulation, Distribution and Transferring Regularity of Spring Wheat under Drip Irrigation

ZHANG Song-chao, CHEN Hui, HUANG Zhen-jiang, WANG Ji-chuan* et al (College of Plant Science, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300)

Abstract [Objective] To clarify the effects of water and nitrogen on dry matter accumulation and distribution of spring wheat under drip irrigation. [Method] Took Xinchun 6 as test materials, different irrigation, nitrogen treatments were set to research wheat dry matter accumulation and distribution in different organs. [Result] The dry matter accumulation of aboveground parts of spring wheat was S shape curve, with the maximum accumulation rate being from jointing stage to filling stage. The treatments with higher total dry weight were W_3N_2 , W_2N_2 , W_2N_3 and W_3N_1 , which dry weight were 15.16, 14.63, 13.25 and 13.19 t/hm², respectively. The average total dry weight and its transfer amount of stem and ear organs of N_2 were 14.06 t/hm², 45.34% and 30.83%, of W_2 were 13.47 t/hm², 31.14% and 60.80% at mature stage, respectively, these treatments were significantly higher than other treatments. The effects of the total dry matter accumulation and spike of various factors were as follows: coupling > water > nitrogen and coupling > nitrogen > water. [Conclusion] The regulation effect of water and nitrogen coupling is the main factor to regulate the growth of spring wheat under drip irrigation. In the production, based on medium nitrogen and adequate irrigation strategy, ensuring adequate water supply in the early growth stage and the appropriate nitrogen level in the middle and later stages is the key to promote the growth and yield of spring wheat.

Key words Spring wheat; Water and nitrogen coupling; Dry matter; Accumulation; Distribution

小麦是新疆主要的粮食作物,其生长主要受水、肥两大因素的影响,而缺水少氮是制约新疆农业生产的重要因素^[1],如何合理地进行水氮运筹、最大限度地发挥资源生产潜力是当前小麦研究的重点。滴灌和水肥一体化是新疆自治区“十三五”重点推广的技术之一^[2],由于水氮供应方式的改变,对小麦生长与物质积累的调控效应与常规生产小麦有所不同^[3]。探明小麦不同生育时期各器官干物质积累与分配的特点,有利于确定滴灌施肥条件下小麦干物质积累分配最合理、运转最高效时的水氮控制指标。目前,关于灌水量和施氮量对小麦干物质积累分配、运转规律影响的研究较多^[4-8],但大多是针对漫灌条件下水、氮单因素对干物质积累影响的研究,关于滴灌条件下水氮耦合对小麦干物质积累分配、运转规律影响的研究不够深入^[9]。该试验设计不同水肥控制指标,研究水氮耦合对滴灌春小麦干物质积累分配与

运转规律的影响,为发挥水肥协同作用、提高其利用效率的水氮科学运筹措施的确定提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验点概况与材料 试验于2016年在塔里木大学网室内进行,地理位置81°17' E、40°32' N,海拔1 004 m,年平均气温11.2℃,年均降水量45.7 mm,年均蒸发量1 988.4 mm,年均相对湿度在55%以下,属典型暖温带内陆型极端干旱气候。以中早熟矮秆春小麦品种新春6号为供试材料。

1.2 试验设计 水氮耦合小区试验,采用裂区设计,主区为施氮量处理,设置无氮(N_0 ,尿素0 kg/hm²)、少氮(N_1 ,尿素138 kg/hm²)、中氮(N_2 ,尿素207 kg/hm²)和高氮(N_3 ,尿素276 kg/hm²)4个水平;副区为滴灌量处理,设置少水(W_1 ,2 700 m³/hm²)、中水(W_2 ,4 050 m³/hm²)和高水(W_3 ,5 400 m³/hm²)3个水平,共计12个处理,每处理重复3次,按随机区组排列。小区面积为10.50 m×2.86 m,种植20行,3月8日按15 cm等行距播种,种植密度为570万株/hm²。每4行于2~3行间铺放一条滴灌带,1管4行模式。施氮量和滴灌量在拔节期、孕穗期、扬花期、籽粒形成期、灌浆期和蜡熟初期的分配比例分别为0.50:0:0.35:0.15:0:0和0.182:0.166:0.202:0.192:0.159:0.099。在实际操作过程中,将氮肥称重后溶解在施肥罐中,使用文丘里施肥器随滴灌施入,并通过水表控制记录滴灌水量。各区之间用防渗材

基金项目 塔里木大学校长基金项目“滴灌小麦群体质量调控效应与高产途径研究”(TDZKGG201702);国家自然科学基金项目“新疆滴灌小麦水分高效利用原理与调控机理研究”(31260303);国家大学生创新创业训练计划项目“滴灌条件下小麦水氮响应特征及调控技术研究”(201510757033);塔里木大学研究生科研创新项目“滴灌水氮运筹对小麦根冠生长及氮素利用效率的研究”(TDGR1201602);塔里木大学大学生创新创业训练计划项目“氮肥运筹对滴灌小麦干物质积累及产量特征的调控效应”(2017059)。

作者简介 张松超(1994—),男,河南洛阳人,本科生,专业:农学。
*通讯作者,教授,硕士生导师,从事作物高产生理研究。

收稿日期 2017-04-13

料隔开,隔离深度 60 cm。

1.3 测定项目 出苗后定期定点记录株高、叶片数、叶片长宽,每隔 7 d 随机取完整植株 5 株,观察植株性状后分器官称鲜重,然后放入 105 °C 烘箱中杀青 15 min,80 °C 烘 48 h 至恒重后称干质量。

1.4 数据分析 试验分析采用 DPS 软件进行数据分析和 Excel 数据作图软件完成。

2 结果与分析

2.1 不同处理对春小麦干物质积累的影响 由图 1 可知,随着生育时期的推进,各处理小麦干物质积累量均呈“S”形增加趋势,在成熟期达到最大值。其中,出苗期至分蘖期干物质增长较缓慢,拔节后加快,至孕穗期呈直线增长,灌浆期后积累速度又减缓。从最终总干物质积累量大小上看,排名靠前的处理有 W_3N_2 (15.16 t/hm²)、 W_2N_2 (14.63 t/hm²)、 W_2N_3 (13.25 t/hm²)、 W_3N_1 (13.19 t/hm²)、 W_3N_3 (12.96 t/hm²)、 W_3N_0 (12.56 t/hm²)、 W_1N_2 (12.39 t/hm²)、

W_2N_1 (10.42 t/hm²),即高水中氮、中水中氮、中水高氮、高水低氮、高水高氮等处理的总干物质积累量较高,而低水、低氮处理普遍较低。

各处理在出苗期至拔节期干物质积累量和积累速度大致相同,并无明显差异。拔节期以后,各处理之间差异开始增大,低水(W_1)条件下, N_3 处理表现最为突出,最先进入直线积累(孕穗期—灌浆期)且直线积累时间最长达 36 d,灌浆期至成熟期,积累速率下降,但积累量达到最大(12.45 t/hm²)。 N_0 处理直线积累时间最晚(籽粒形成期—灌浆期)且时间最短,为 23 d,干物质积累量最小仅为 8.57 t/hm²。 N_1 、 N_2 处理直线积累在扬花期—灌浆期,时间为 29、27 d,灌浆期后积累速率下降,至成熟期积累量最大为 9.84、11.53 t/hm²。整体来看,各处理干物质积累量从大到小依次为 N_3 、 N_2 、 N_1 、 N_0 。说明水分亏缺时,增施氮肥有利于小麦提前进入直线积累时期,从而增大直线期时间,有利于干物质积累。

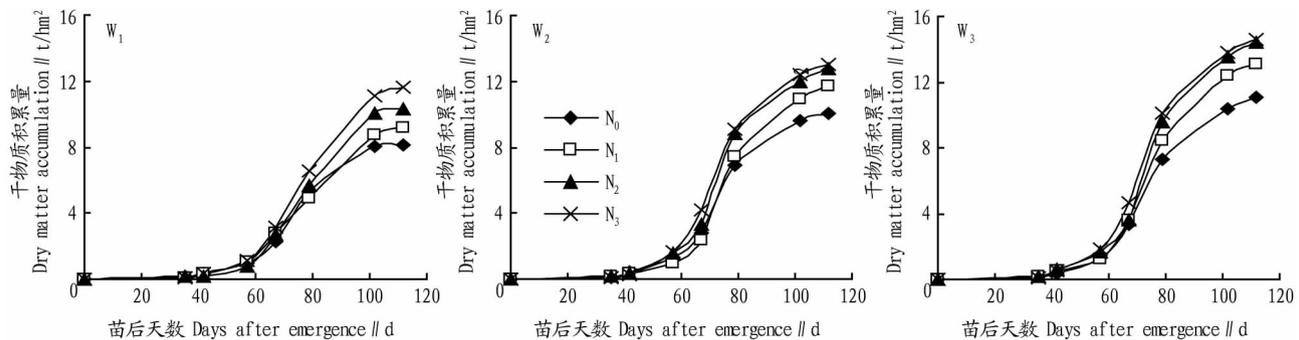


图 1 不同水分条件下氮素处理的群体干物质积累量动态变化

Fig. 1 Dynamic change of dry matter accumulation of nitrogen treatments under different water conditions

中水(W_2)条件下, N_2 、 N_3 处理的直线增长期在拔节期—籽粒形成期,时间分别为 22、23 d。干物质积累量在成熟期达到最大,分别为 13.73、13.47 t/hm²。 N_0 处理的直线增长期为孕穗期—籽粒形成期,时间为 17 d。干物质在籽粒形成期至灌浆期后增长缓慢,导致穗部发育不全,干物质积累量不足,仅为 10.37 t/hm²。 N_1 处理的直线增长期为拔节期—扬花后期,时间为 20 d。在籽粒形成期—灌浆期,干物质积累速度下降,在成熟期达到最大(12.29 t/hm²)。从整体来看,各处理干物质积累速率及积累量从大到小依次为籽粒形成期前 N_3 、 N_2 、 N_1 、 N_0 ,在籽粒形成期—成熟期为 N_2 、 N_3 、 N_1 、 N_0 。说明在中水条件下,适量氮素会促进小麦营养生长和生殖生长,特别是在籽粒形成期后有利于提高穗部干物质积累速率和积累量,但是过高的氮素并不会使穗干物质积累量增加。

高水(W_3)条件下, N_1 、 N_2 处理最先进入直线积累期(拔节后期—灌浆前期),直线积累时间分别为 29、32 d,灌浆期—成熟期,积累速率下降,但积累量达到最大,分别为 13.87、12.42 t/hm²。 N_3 处理直线积累时间最晚(拔节期—扬花期),时间为 23 d,干物质积累量为 15.57 t/hm²。 N_0 处理直线积累在拔节期—籽粒形成期,时间为 20 d,灌浆期后积累速率下降,至成熟期积累量最大(10.12 t/hm²)。整体来

看,各处理在营养生长阶段积累速率和积累量从大到小依次为 N_1 、 N_2 、 N_0 、 N_3 ,在生殖生长阶段积累速率和积累量从大到小依次为 N_2 、 N_1 、 N_3 、 N_0 。说明高水条件下减少氮肥有利于小麦干物质积累速率增大,有利于干物质积累。

2.2 新春 6 号干物质分配特征 由表 1 可以看出,干物质积累随生育进程而增加,茎秆干物质积累量在孕穗期—籽粒形成期增长最快,至灌浆期达最大;叶片干物质积累呈现单峰曲线变化,在孕穗期后达高峰,随后逐渐下降;穗器官干物质积累量在孕穗期—籽粒形成期增长缓慢,在籽粒形成期—灌浆期快速增长。

从干物质占总干质量分配比例大小上看,拔节前以叶片生长为主,叶片干物质积累量比例大于茎秆,孕穗期以后,植株进入到快速生长时期,干物质开始向穗器官转移,但在籽粒形成期以前仍以茎叶的养分分配为中心,籽粒形成期各器官干物质积累量从大到小均为茎秆、叶片、穗,当籽粒进一步开始灌浆至成熟期穗器官才为干物质运转与积累中心,各器官干物质比例从大到小依次为穗、茎秆、叶。

2.3 水、氮对春小麦干物质积累与分配的影响

2.3.1 水分对干物质积累与分配的影响。 由表 2 可以看出,不同水分处理显著影响小麦各器官的生长,随着土壤水分的增加,小麦总干物质积累量和各器官干物质积累量逐渐

增加,但从增加的程度上看,孕穗前,叶片干物质积累量分配比例最高,孕穗期一籽粒形成期,茎秆干物质积累量分配比例最高,而灌浆期穗器官干物质分配比例最高,说明增加水分在

生育前期主要促进小麦叶片的生长,易造成叶面积肥大;生育中期主要促进茎秆生长,易造成茎秆伸长过快倒伏,后期则利于穗器官发育。

表1 不同时期各器官平均干物质积累量及所占比例

Table 1 The average accumulation and proportion of dry matter in different organs in different periods

生育时期 Growth period	叶片 Leaf		茎秆 Stem		穗 Spike		总干物质 积累量 Total dry weight accumulation t/hm ²
	干物质积累量 Dry matter accumulation t/hm ²	百分比 Percentage %	干物质积累量 Dry matter accumulation t/hm ²	百分比 Percentage %	干物质积累量 Dry matter accumulation t/hm ²	百分比 Percentage %	
	分蘖期 Tillering stage	0.09	65.42	0.05	34.58	—	
拔节期 Jointing stage	0.20	52.60	0.18	47.40	—	—	0.38
孕穗期 Booting stage	0.57	44.08	0.65	50.18	0.07	5.74	1.29
籽粒形成期 Grain formation stage	1.71	22.78	4.06	54.14	1.73	23.09	7.51
成熟期 Mature stage	1.01	8.66	3.56	30.51	7.10	60.84	11.67

表2 同一氮素条件下不同水分处理各器官干物质积累与转移特征

Table 2 The average dry matter accumulation and percentage of different water treatments under the same nitrogen level

生育时期 Growth period	水分处理 Water treatment	叶 Leaf		茎秆 Stem		穗 Spike		总干物 质积累量 Total dry weight accumulation t/hm ²
		干物质积累量 Dry weight accumulation t/hm ²	百分比 Percentage %	干物质积累量 Dry weight accumulation t/hm ²	百分比 Percentage %	干物质积累量 Dry weight accumulation t/hm ²	百分比 Percentage %	
拔节期 Jointing stage	W ₁	0.16	52.70	0.15	47.30	—	—	0.31
	W ₂	0.18	51.60	0.17	48.40	—	—	0.35
	W ₃	0.26	53.39	0.22	46.61	—	—	0.48
孕穗期 Booting stage	W ₁	0.45	45.71	0.46	46.32	0.08	7.98	0.99
	W ₂	0.55	43.39	0.65	51.21	0.07	5.41	1.27
	W ₃	0.71	43.32	0.84	52.04	0.08	4.64	1.62
籽粒形成期 Grain formation stage	W ₁	1.44	25.04	2.83	48.83	1.50	26.13	5.77
	W ₂	1.71	22.26	4.33	55.29	1.73	22.45	7.77
	W ₃	1.97	22.17	5.04	55.80	1.96	22.03	8.97
成熟期 Mature stage	W ₁	0.89	9.40	2.90	30.22	5.79	60.39	9.58
	W ₂	1.05	8.98	3.59	30.98	7.31	60.04	11.95
	W ₃	1.08	8.06	4.19	31.14	8.20	60.80	13.47
平均 Mean	W ₁	0.74	33.21	1.58	43.17	2.46	31.50	4.16
	W ₂	0.88	31.56	2.18	46.47	3.04	29.30	5.34
	W ₃	1.00	31.74	2.57	46.40	3.41	29.16	6.14

从水分对各器官干物质积累与分配的影响上看, W₃ 处理的各器官干物质平均积累量最大而分配到叶片及穗器官的比例较小, W₁ 与 W₃ 处理刚好相反, W₂ 处理的干物质平均积累量居中但分配到茎秆的比例最大,说明干旱个体干物质积累基础少,植株衰老过早,但经济系数较高;水分过高个体生长旺盛但经济系数较低,成熟期适宜水分处理(W₂)的总干物质积累量、茎秆和穗器官干物质积累量转移率分别为13.47 t/hm²、31.14%和60.80%,较 W₁ 和 W₃ 处理高,说明 W₂ 处理能较好地协调物质生产与分配的关系,促进麦株健壮,生长有效性提高。

2.3.2 氮素对干物质积累与分配的影响。由表3可以看出,随着施氮量的增加,干物质形成与积累量增加,并以孕穗期一籽粒形成期间增加速度最快。拔节期干物质积累量叶片中高于茎鞘,并以 N₀ 处理的叶片干物质和 N₂ 处理的茎秆干物质转移率最高,说明增施一定氮肥利于茎秆生长。在孕穗期一籽粒形成期,干物质积累量从大到小依次为叶片、茎鞘、穗,说明干物质主要运转至营养器官中,但是一部分开始向穗转移。此期间茎秆干物质百分比最高,并以 N₁ 或 N₂ 处

理的转移率较大,说明适宜的施氮促进茎秆生长,但 N₃ 处理的叶片干物质百分比比较高,说明氮肥过多易形成肥大叶片,不利于群体质量的提高。灌浆期是穗器官物质转移率最高期,也是氮素处理对干物质积累影响差异表现最显著的时期,干物质积累量从大到小依次为穗、茎鞘、叶片,穗器官是生长中心,氮肥处理对穗干物质转移有较大影响,穗器官物质转移率最高的处理是 N₂, 达 64.51%, 其次是 N₀ 处理, 达 61.27%, N₃ 处理最小为 57.21%, 说明适宜氮肥能较好协调茎叶和穗器官干物质运转矛盾,小麦生长健壮,穗器官干物质转移率大,利于籽粒发育,但氮素过多,茎叶生长旺盛,干物质转移效率下降,甚至倒伏,造成总体干物质积累下降(此期总干物质积累量从大到小依次为处理 N₂、N₃、N₁、N₀)。

2.3.3 水氮耦合对各器官干物质积累的影响效应。水氮对各器官干物质积累的影响在各生育时期有所不同(表4),总体上看,无论是叶片和茎秆,还是穗器官,各时期的影响大小均依次表现为水氮耦合、水分、氮素;对各器官的调控效应大小依次为茎秆、叶片、穗;孕穗前水分对叶片的调控效应较大,孕穗后对茎秆的调控效应较大;拔节期一孕穗期,水氮耦合效应和茎秆的水分效应最大,说明此期灌溉为主,施以一

表 3 同一水分条件下不同氮素处理各器官干物质积累与转移特征

Table 3 The average dry matter accumulation and transfer characteristics of different nitrogen treatments under the same water level

生育时期 Growth period	氮肥处理 N treatment	叶 Leaf		茎秆 Stem		穗 Spike		总干物 质积累量 Total dry weight accumulation //t/hm ²
		干物质积累量 Dry weight accumulation t/hm ²	百分比 Percentage %	干物质积累量 Dry weight accumulation t/hm ²	百分比 Percentage %	干物质积累量 Dry weight accumulation t/hm ²	百分比 Percentage %	
拔节期 Jointing stage	N ₀	0.17	53.89	0.14	46.11	—	—	0.31
	N ₁	0.20	52.00	0.18	48.00	—	—	0.38
	N ₂	0.21	51.12	0.20	48.88	—	—	0.40
	N ₃	0.23	53.24	0.20	46.76	—	—	0.43
孕穗期 Booting stage	N ₀	0.47	43.06	0.54	48.74	0.09	8.20	1.10
	N ₁	0.52	44.50	0.60	49.70	0.07	5.80	1.19
	N ₂	0.55	43.29	0.67	52.17	0.06	4.54	1.27
	N ₃	0.73	45.69	0.78	48.82	0.09	5.49	1.60
籽粒形成期 Grain formation stage	N ₀	1.57	24.24	3.20	49.59	1.69	26.17	6.46
	N ₁	1.55	22.44	4.23	57.07	1.41	20.49	7.19
	N ₂	1.88	23.75	4.19	52.81	1.88	23.44	7.95
	N ₃	1.83	22.20	4.63	53.75	1.96	24.05	8.42
成熟期 Mature stage	N ₀	0.88	8.90	2.98	29.82	6.12	61.27	9.98
	N ₁	0.99	9.35	3.61	33.45	6.19	57.20	10.79
	N ₂	1.12	7.99	3.86	27.50	9.08	64.51	14.06
	N ₃	1.05	9.01	3.79	32.34	7.00	58.65	11.84
平均 Mean	N ₀	0.77	32.53	1.72	43.56	2.63	31.88	4.46
	N ₁	0.82	32.07	2.16	47.05	2.55	27.83	4.89
	N ₂	0.94	31.54	2.23	45.34	3.67	30.83	5.92
	N ₃	0.96	32.53	2.35	45.42	3.02	29.40	5.58

定的氮肥能更好地促进植株生长,对穗的生长主要保证氮素供应;扬花期,对茎秆的调控效应最大,对叶片的调控效应最小,水分和耦合效应高于氮素效应,说明此期水氮供应以促进茎秆生长为主,水氮过多茎秆生长过快,易引起后期倒伏;灌浆期,对穗的调控效应最大,且效应大小依次为水氮耦合、氮、水,说明此期以穗器官生长为主,合理的水氮供应能促进籽粒灌浆。

水分及水氮对叶片的耦合效应随生育进程逐渐下降,而

氮肥对叶片的影响从大到小依次表现为孕穗期、拔节期、成熟期、籽粒形成期,说明生育前期保证水分供应、孕穗期合理配施氮肥能促进叶片生长;茎秆生长的水、氮效应在孕穗期最高,其次在籽粒形成期和拔节期,最低在成熟期,而耦合效应在拔节后一直增加,成熟期下降,说明茎秆的水、氮调控最大效应晚于叶片,孕穗期—籽粒形成期保证水氮供应是调控茎秆的关键。孕穗后穗器官的水分效应一直增加,而水氮耦合效应一直下降,氮素效应则下降不明显。

表 4 不同时期水、氮处理地上部干物质积累量变异系数

Table 4 Variation coefficient of dry matter accumulation of water and nitrogen fertilizer treatments in different periods

生育时期 Growth period	因素 Factor	叶干物质积累量 Leaf dry weight accumulation	茎秆干物质积累量 Stem dry weight accumulation	穗干物质积累量 Spike dry weight accumulation	总干物质积累量 Total dry weight accumulation	%
拔节期 Jointing stage	水分	24.54	22.21	0.00	23.39	
	氮素	12.41	14.66	0.00	13.26	
	水氮	25.24	24.60	0.00	24.66	
孕穗期 Booting stage	水分	22.76	29.42	7.20	24.73	
	氮素	19.97	16.12	20.16	17.02	
	水氮	28.86	31.14	36.72	28.23	
籽粒形成期 Grain formation stage	水分	15.42	27.79	13.22	21.52	
	氮素	10.13	14.90	14.27	11.51	
	水氮	18.12	31.74	21.03	22.82	
成熟期 Mature stage	水分	10.09	18.12	17.18	16.80	
	氮素	10.14	11.32	19.45	15.16	
	水氮	13.34	19.91	25.67	20.59	
平均 Mean	水分	18.20	24.38	9.40	21.61	
	氮素	13.16	14.25	13.47	14.24	
	水氮	21.39	26.85	20.86	24.07	

从各因素对不同器官在各生育阶段的影响上看,孕穗期的水、氮、耦合调控效应最大,且以调控茎秆和穗为主,其次,是灌浆期的穗器官氮素效应和扬花期的茎秆水氮耦合效应及拔节期的叶片水分效应。由此说明,孕穗期是肥水调控的关键期,此前,以水分调控为主,此后以水氮配合调控为主,且后期的氮素调控保持较高水平,这也体现了氮肥后移的重要性^[10]。

3 结论与讨论

春小麦上部分干物质呈“S”形变化。出苗至拔节,干物质增长缓慢,拔节期至灌浆期干物质积累速率最大,为直线增长,乳熟期—成熟期积累速率又减缓。不同的水氮处理对小麦的干物质积累有显著的影响。其中高水中氮、中水中氮、中水高氮、高水低氮、高水高氮等处理的总干物质积累量较高。低水低氮处理干物质积累缓慢,其直线增长期短,速率慢,造成小麦过早衰亡。高水高氮处理植株营养生长过旺,抑制生殖生长^[11],使穗的干物质积累减小。不同水分处理中,水分亏缺(W_1)条件下,增施氮肥有利于小麦提前进入直线积累期,利于干物质积累。适宜水分(W_2)条件下,适量的氮素(N_2)能促进穗部干物质积累速率和积累量的提高,利于产量形成,但过高的氮素(N_3)并不会使穗干物质增加,反而对其有抑制作用^[12]。高水条件下,随施氮量增加,干物质的直线增长期延长,但穗器官干物质积累量和转移率以 N_2 处理最高,说明后期保持一定氮素供应能明显促进籽粒发育,提高产量。

从各器官干物质积累量分配比例大小上看,拔节前以叶片生长为主,孕穗期前叶片干物质分配率达到高峰,随后开始下降。茎秆干物质分配率从拔节期开始增加,孕穗期后,植株进入快速生长期,植株开始由营养生长逐渐转向生殖生长,干物质开始向穗器官转移,但在籽粒形成期以前仍以茎叶的养分分配为中心,此时干物质分配茎秆大于叶片。当籽粒进一步开始灌浆至成熟期,穗干物质质量一直增加,穗器官成为干物质运转与积累中心,此时干物质主要分配至穗,叶片逐渐衰亡。不同水分处理显著影响小麦各器官的生长,随着土壤水分的增加,小麦总干物质积累量和各器官干物质积累量逐渐增加,但水分过大或过少,叶片干物质转移率过高或过低,均不利于个体生长,适宜水分(W_2)的茎秆干物质积累量及转移率均较高,能促进茎秆健壮生长,对后期穗器官干物质转移率的提高有利。随施氮量增加,总干物质积累

量增加,但高氮(N_3)处理的总干物质积累量有所下降,这可能与群体倒伏有关^[13]。滴施一定的氮肥(N_1 、 N_2)在拔节期—孕穗期间能促进茎秆生长,在灌浆期能促进籽粒发育,并以 N_2 处理的总干物质质量、茎秆和穗器官干物质转移率最高,分别达 14.06 t/hm^2 、 45.34% 和 30.83% ,但氮素过多,茎叶生长旺盛,穗器官干物质转移率下降至 57.21% ,严重影响产量形成。

各因素对小麦整体干物质影响从大到小依次为水氮耦合、水分、氮素,对穗部干物质积累影响从大到小依次为水氮耦合、氮素、水分,对各器官的调控效应从大到小依次为茎秆、叶片、穗,说明在干旱灌溉区,肥水耦合调控效应是调节小麦生长的主要因素,对群体大小调控的主导因素为水分,而对穗器官发育调控的主导因素是氮素,由此,在实际生产中,应注重生育期的肥水运筹,在保证充足的水分供应以促进群体发展的同时,中后期适当施用氮肥,提高穗器官发育质量,才能保证小麦健壮高效生产,发挥以水调氮的综合效应。

参考文献

- [1] 张福锁,樊明生. 主要粮食作物高产栽培与资源高效利用的基础研究[M]. 北京:中国农业出版社,2013.
- [2] 梁飞,曾胜和,陈云,等. 关于粮食作物滴灌施肥高产高效机理的思考[J]. 节水灌溉,2015(9):87-90.
- [3] WANG J C, XU C L, GAO S, et al. Effect of water amounts applied with drip irrigation on water consumption characteristics and yield of spring wheat in Xinjiang[J]. Advance journal of food and technology, 2013, 5(9): 1180-1185.
- [4] 高山,王冀川,徐雅丽,等. 不同土壤水分对滴灌春小麦生长·干物质积累与分配的影响[J]. 安徽农业科学,2011,39(9):5151-5153,5240.
- [5] 李晓航,杨丽娟,盛坤,等. 不同灌水处理下小麦干物质分配、转运及其产量的研究[J]. 中国农学通报,2015,31(30):33-37.
- [6] ZHOU X L, WANG H, CHEN Q C, et al. Coupling effects of depth of film-bottomed tillage and amount of irrigation and nitrogen fertilizer on spring wheat yield[J]. Soil & tillage research, 2007, 94(1):251-261.
- [7] 董剑,赵万春,高翔,等. 水氮调控对小麦植株干物质积累、分配与转运的影响[J]. 华北农学报,2012,27(3):196-202.
- [8] 王林林,陈炜,徐莹,等. 氮素营养对小麦干物质积累与转运的影响[J]. 西北农业学报,2013,22(10):85-89.
- [9] 王冀川,高山,徐雅丽,等. 新疆小麦滴灌技术的应用与存在问题[J]. 节水灌溉,2011(9):25-29.
- [10] 杜世州,曹丰富,张耀兰,等. 氮素运筹对淮北地区超高产小麦养分吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(1):9-15.
- [11] 马耕,张盼盼,王晨阳,等. 高产小麦花后植株氮素累积、转运和产量的水氮调控效应[J]. 麦类作物学报,2015,35(6):798-805.
- [12] 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.
- [13] 卢昆丽,尹燕桦,王振林,等. 施氮期对小麦茎秆木质素合成的影响及其抗倒伏生理机制[J]. 作物学报,2014,40(9):1686-1694.
- [14] GENG H W, ZHANG Y, HE Z H, et al. Molecular markers for tracking variation in lipoxygenase activity in wheat breeding [J]. Mol Breeding, 2011, 28(1):117-126.
- [15] 陶梅,辛萍萍. 用种胚浸提法测定种子脱氢酶活性的探讨[J]. 种子科技,1993(5):28.
- [16] 贺杰,欧行奇,胡海燕,等. 小麦新、老种子活力与其酶关系的研究[J]. 种子,2011,31(7):39-42.
- [17] BORRELLI G M, DE LEONARDIS A M, FARES C, et al. Effects of modified processing conditions on oxidative properties of semolina dough and pasta[J]. Cereal chemistry, 2003, 80:225-231.
- [18] TRAWATHA S E, TEKRONY D M, HILDEBRAND D F. Soybean lipoxygenase mutants and seed longevity[J]. Crop science, 1995, 35:862-868.
- [19] 傅文泽. 小麦灌浆特性与粒重的关系[J]. 福建稻麦科技, 2000, 18(S1):24-26.

(上接第37页)