

灌溉模式对不同群体小麦茎秆特征和倒伏指数的影响

刘丽平^{1 2} 欧阳竹¹

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所生态系统网络观测与模拟重点实验室,北京 100101;2. 中国科学院 研究生院,北京 100049)

摘要:为明确灌溉模式对不同群体小麦茎秆倒伏的调控机制,在大田条件下设置了不灌水(W0)、灌1水(W1j,拔节期灌水;W1b,孕穗期灌水)、灌2水(W2,拔节和孕穗期灌水)、灌3水(W3,拔节、孕穗和灌浆期灌水)5种灌溉模式和基本苗180株/m²(D1)、300株/m²(D2)和450株/m²(D3)3种密度,研究了灌溉对不同群体小麦茎秆特征和抗倒伏能力的影响。结果表明:灌溉显著影响了小麦的茎秆特征和倒伏指数。随着灌溉次数的增多,株高、重心高度和产量均呈低-高-低的变化趋势;单位茎秆与基部节间干质量及干物质输出量、茎秆粗度及机械强度均随灌溉次数增多显著降低或变细。5种灌溉模式中,株高、茎粗、成熟期茎秆机械强度与单位茎秆干质量、基部一二节间单位干质量及产量均以W2较高。随密度增加,株高和重心高度显著增高;茎粗、机械强度、单位茎秆与基部节间干质量显著减小或降低;产量高低以D2>D3>D1。综合各项指标,春季灌拔节和孕穗2水,并采取300株/m²基本苗密度更有助于改善小麦的茎秆质量和产量。

关键词:灌溉模式;密度;茎秆特征;倒伏指数;小麦

中图分类号:S275 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2011)06-0174-07

Effect of Irrigation Schedules on Stem Traits and Lodging Index of in Winter Wheat

LIU Li-ping^{1 2}, OUYANG Zhu¹

(1. Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to clarify the regulation mechanism of stem lodging under different densities and irrigation schedules, an experiment was conducted in field. The experiment included 5 irrigation schedules such as no irrigation(W0), irrigation once at jointing(W1j) or at booting(W1b), irrigation twice at jointing and booting(W2), and irrigation three times at jointing, booting and grain-filling(W3), and 3 planting densities such as 180(D1), 300(D2) and 450 seedlings per square meter(D3). The results indicated that irrigation had a significant effect on stem traits and lodging index. Plant height, stem gravity height and grain yield presented a low-high-low variation trend with the increasing of irrigation times. Dry weight of stem and basal internodes per centimeter, dry matter output of stem and basal internodes per centimeter, stem diameter and stem mechanical strength decreased significantly with the increasing of irrigation times. Stem indexes of W2 such as plant height, stem diameter, stem mechanical strength, dry weight of stem and basal internodes per centimeter and grain yield were superior to other irrigation schedules. At the same time, plant height and associated gravity height became increased significantly. With the increasing of densities, stem diameter, stem mechanical strength, dry weight of stem and basal internodes per centimeter, dry matter output of stem and basal internodes per centimeter decreased significantly with the increasing of densities. And grain yield of D2 was higher, followed by D3 and D1. It indicated that spring irrigations applied at jointing and booting stage(W2), and combining with 300 seedlings per square meter could improve stem quality, lodging resistance and grain yield effectively.

Key words: Irrigation schedules; Planting densities; Stem traits; Lodging; Winter wheat

收稿日期:2011-10-09

基金项目:国家973课题(2005CB121106)与中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09-06)共同资助

作者简介:刘丽平(1982-),女,河北景县人,在读博士,主要从事农田生态系统的优化管理研究。

通讯作者:欧阳竹(1961-),男,广东顺德人,研究员,博士,博士生导师,主要从事农业生态学研究。

茎秆是高光效群体的主要支持系,强壮的茎秆能防止倒伏,合理支配叶层和叶态的分布,是提高光合生产力的冠层结构的基础^[1]。灌溉和密度是影响作物茎秆质量的重要栽培措施,历来受到农业工作者的重视。有关灌溉模式和密度对小麦茎秆特性的影响,前人已进行了大量研究^[2-8]。研究普遍认为,充足的水分能够促进节间伸长^[2],拔节前水分胁迫可抑制植株过早增高,防止后期灌溉发生倒伏^[3,4]。密度增加造成了群体荫蔽,节间分生组织分生时间延长,茎细胞的伸长过程加强,细胞变长,胞壁变薄,单位茎秆干质量降低,机械强度减弱,容易发生倒伏^[5-9]。上述报道为深入研究小麦的茎秆特性提供了许多有价值的信息。但它们大多局限于单因素中低产条件下茎秆特征的变化,而关于灌溉模式和密度两因素对高产小麦茎秆形态特征、生理特性和倒伏指数影响的报道尚不多见。本研究旨在前人研究的基础上,运用形态学、生理学等指标系统比较几种灌溉模式下不同群体小麦的茎秆形态特征和倒伏指数,并寻求可能的影响机制,为实现小麦高产抗倒提供栽培学方面的理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于 2009 - 2010 年在中国科学院禹城农业生态试验站(36°57'N,116°36'E,海拔 23 m)进行,该站位于鲁西北引黄灌区,年均气温 13.1℃,≥0℃的积温 4 441℃,年均降水量 584.2 mm,降水主要集中在 7 - 9 月,小麦生育期间干旱少雨。试验地土壤

类型以盐化潮土为主。试验地 0 ~ 20 cm 耕层中有有机质含量为 15.6 g/kg,全氮 1.0 g/kg,碱解氮 90.3 mg/kg,速效磷 32.9 mg/kg,速效钾 101.6 mg/kg。土壤 pH 值 8.57。前茬玉米收获后直接施肥,每公顷施 N 210 kg, P₂O₅ 49 kg, K₂O 66 kg。其中氮肥的 40% 作底肥,60% 作为拔节期追肥。底肥均匀撒施后旋耕、耧平,之后播种、做畦。供试小麦品种为良星 99。

试验采用二因素裂区设计。主区为灌溉模式(W),分不灌水(W0)、灌 1 水(W1j,拔节期灌溉;W1b,孕穗期灌溉)、灌 2 水(W2,拔节和孕穗期灌溉)、灌 3 水(W3,拔节、孕穗和灌浆期灌溉)5 个水平,每次灌溉量为 60 mm;副区为密度(D),分基本苗 180 株/m²(D1)、300 株/m²(D2)和 450 株/m²(D3)3 个水平。主副区内随机排列,重复 3 次。每个小区的面积为 5 m × 10 m = 50 m²。小麦拔节期至成熟期降雨较少,累计降雨 35.1 mm。其中,拔节至孕穗期累计降雨 10.8 mm,孕穗至灌浆期累计降雨 6.7 mm,灌浆至成熟期累计降雨 17.6 mm。田间管理除按照试验设计分别实施外,均按大田管理措施统一进行。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 株高 于拔节、孕穗、开花和成熟期每个小区取 30 株,量取株高(cm)。

1.2.2 茎秆重心高度 于抽穗期、花后 10 d 和成熟期量取茎秆基部至该茎(带穗、叶和鞘)平衡支点的距离(cm)。

表 1 不同组合在各生育时期的株高

Tab. 1 Plant height of different combinations at various growing stages cm

灌溉模式 Irrigation schedules	密度 Densities	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	开花期 Anthesis	成熟期 Maturity
W0	D1	35.9	51.0	68.6	69.8
	D2	38.6	52.6	70.2	70.4
	D3	38.8	52.9	72.0	72.1
W1j	D1	38.1	55.3	71.2	71.2
	D2	38.0	55.5	72.3	75.5
	D3	42.7	57.3	75.6	75.8
W1b	D1	38.5	51.5	72.2	73.0
	D2	38.9	51.6	74.4	74.5
	D3	39.4	53.1	75.2	76.7
W2	D1	36.2	54.2	72.3	75.6
	D2	38.6	54.9	73.6	77.5
	D3	38.9	55.0	74.9	79.0
W3	D1	36.6	51.9	70.5	75.8
	D2	38.7	53.5	74.0	75.8
	D3	40.5	55.1	76.0	76.1

注:表中的成熟期均为成熟期中的蜡熟阶段,表 2 ~ 6 同。
Note: Maturity in the table indicated the waxing period of maturity, the same as Tab. 2 - 6.

- 1.2.3 茎秆机械强度 于抽穗期、花后 10 d 和成熟期取基部第二节间去叶鞘,测定机械强度(g) 。测定方法参照王勇^[10]。
- 1.2.4 基部第一和第二节间粗度 于抽穗期、花后 10 d 和成熟期用游标卡尺测量基部第一和第二节间中间的粗度(mm) 。
- 1.2.5 单位长度茎秆及基部节间干质量 于花后 10 天和成熟期各处理取 10 个主茎,剥除叶鞘量取茎秆长度并烘干茎秆至恒重。计算单位长度茎秆的干质量及基部一二节间干质量(mg/cm) 。
- 1.2.6 产量 在收获前每个处理选取面积为 2 m ×1 m 的 2 点,人工收割,进行测产。

数据分析采用 SAS v8.0 程序和 EXCEL 2007 进行统计分析和作图。由于灌溉模式和密度互作效应不显著,且密度对小麦茎秆特性的影响与前人研究结果基本一致,本研究着重分析灌溉模式的主效应。

2 结果与分析

2.1 小麦的茎秆特征

2.1.1 株高 各灌溉模式下株高均随密度的增大而增加,且株高均在 80 cm 内(表 1) 。这为小麦生育后期未发生倒伏奠定了基础。相同密度下株高又以 W2 的较高,W0 的较低。本研究中,株高较高的 2 个处理组合是 W2D3 和 W2D2,株高最低的 2 个组合是 W0D1 和 W0D2。

对株高(表 2) 的分析表明,拔节期灌溉模式间株高差异不显著,孕穗至成熟期灌溉模式间的株高存在显著的差异。孕穗期株高以 W1j > W2 > W3 > W0 > W1b,这表明拔节期灌水显著增加了孕穗期株高。开花期株高以不灌水的显著低于灌水,灌水处理间则无显著差异。成熟期株高以 W2 > W3 > W1b > W1j > W0,即随着灌溉量的增加呈现低 - 高 - 低的变化趋势。

表 2 灌溉模式对株高影响的主效应

Tab.2 Main effect of irrigation schedules on plant height					cm
灌溉模式 Irrigation schedules	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	开花期 Anthesis	成熟期 Maturity	
W0	37.8 aA	52.2 cC	70.2 bA	70.7 cB	
W1j	39.6 aA	56.1 aA	73.0 abA	74.2 bA	
W1b	38.9 aA	52.1 cC	73.9 aA	74.7 bA	
W2	37.9 aA	54.7 abAB	73.6 aA	77.3 aA	
W3	38.6 aA	53.5 bcBC	73.5 aA	75.9 abA	

注:小写字母表示 0.05 显著水平,大写字母表示 0.01 显著水平,表 3 ~ 9 同。
Note: Small and capital letters indicated significant difference at 0.05 and 0.01 level ,respectively ,The same as Tab.3 - 9.

2.1.2 茎秆粗度 不同灌溉模式下基部节间粗度均随密度增加而变细,相同密度下茎秆粗度在灌溉模式间变化不同(表 3) 。组合间比较,不同生育时期基部一、二节间粗度变化各异,在抽穗期基部一二节间基本上以 W0D1 较粗,花后 10 d 以 W1jD1 与 W2D1 较粗;成熟期则以 W3D1 的节间最粗。

表 3 不同组合茎秆基部节间粗度

Tab.3 Stem diameter of the basal internodes of different combinations								mm
灌溉模式 Irrigation schedules	密度 Densities	基部第一节间 The basal internode			基部第二节间 The second internode			
		抽穗期 Heading	花后 10 d 10 d at post-anthesis	成熟期 Maturity	抽穗期 Heading	花后 10 d 10 d at post-anthesis	成熟期 Maturity	
W0	D1	4.49	4.18	4.33	4.56	4.45	4.41	
	D2	3.86	3.74	4.00	4.16	4.11	4.11	
	D3	3.78	3.73	3.87	3.94	4.01	3.82	
W1j	D1	4.25	4.40	4.17	4.42	4.55	4.49	
	D2	3.85	3.98	4.38	4.37	4.52	4.54	
	D3	3.81	3.63	3.68	4.11	4.31	3.93	
W1b	D1	4.11	4.17	4.30	4.33	4.35	4.38	
	D2	3.77	3.96	3.82	4.17	4.24	3.98	
	D3	3.52	3.66	3.78	3.94	4.00	3.97	
W2	D1	4.23	4.39	4.41	4.46	4.52	4.46	
	D2	4.07	4.23	4.28	4.49	4.42	4.50	
	D3	3.77	3.86	4.14	4.07	4.17	4.37	
W3	D1	4.01	4.05	4.51	4.28	4.31	4.58	
	D2	3.92	3.72	4.11	4.22	4.16	4.28	
	D3	3.90	3.52	3.88	4.20	4.02	4.25	

对不同灌溉模式下基部节间粗度的分析表明(表4),不同灌溉模式间茎秆粗度在抽穗至成熟期均存在显著或极显著的差异。第一节间进行比较,抽穗期以W0最粗,花后10 d和成熟期均以W2显著粗于其他处理。第二节间除了花后10 d以W1j较粗外,抽穗期和成熟期均以W2较粗。

表4 灌溉模式对茎秆基部第一、二节间粗度影响的主效应

Tab.4 Main effect of irrigation schedules on stem diameter of the basal and second internode							mm
灌溉模式 Irrigation schedules	基部第一节间 The basal internode			基部第二节间 The second internode			
	抽穗期 Heading	花后 10 d 10 d at post-anthesis	成熟期 Maturity	抽穗期 Heading	花后 10 d 10 d at post-anthesis	成熟期 Maturity	
W0	4.04 aA	3.88 dD	4.07 cC	4.22 cC	4.19 cC	4.11 dD	
W1j	3.97 cB	4.00 bB	4.08 cC	4.30 bB	4.46 aA	4.32 cC	
W1b	3.80 eD	3.93 cC	3.97 dD	4.15 dD	4.20 cC	4.11 dD	
W2	4.02 bA	4.16 aA	4.28 aA	4.34 aA	4.37 bB	4.44 aA	
W3	3.94 dC	3.76 eE	4.17 bB	4.23 cC	4.16 dD	4.37 bB	

2.1.3 茎秆重心高度 随着生育时期的推进,植株重心高度逐渐上移(图1)。各灌溉模式下重心高度均随密度的增大逐渐增加,这与株高的变化规律一致。灌溉模式间比较,自抽穗期至成熟期均以W2茎秆重心高度最高。

弱。同一密度不同灌溉模式间比较,不灌水的或只灌孕穗水的机械强度较高;灌水越早,灌水越多,机械强度越弱。由图2还可以看出,各生育时期均以W2D3的机械强度最弱。

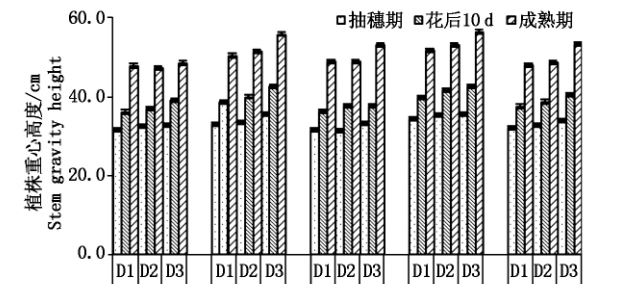


图1 不同组合的茎秆重心高度

Fig.1 Stem gravity height of different combinations

不同灌溉模式间茎秆重心高度在抽穗期至成熟期都存在极显著的差异(表5)。不同灌溉模式间比较,植株的重心高度基本上均以W2>W1j>W3>W1b>W0。由此表明拔节期灌水导致茎秆重心高度上移,这不利于茎秆抗倒伏。

表5 灌溉模式对茎秆重心高度影响的主效应

Tab.5 Main effect of irrigation schedules on stem gravity height				cm
灌溉模式 Irrigation schedules	抽穗期 Heading	花后 10 d 10 d at post-anthesis	成熟期 Maturity	
W0	32.3 dCD	37.5 dD	47.9 dD	
W1j	34.0 bB	40.4 bB	52.7 bB	
W1b	32.1 dD	37.3 dD	50.1 cC	
W2	35.1 aA	41.4 aA	53.8 aA	
W3	32.9 cC	39.0 cC	50.4 cC	

2.1.4 茎秆机械强度 小麦茎秆本身既有弹性,又有硬性,茎秆机械强度则是两种属性的综合反映,是茎秆质量优劣的具体体现^[10]。茎秆机械强度从抽穗或花后10 d迅速降低,成熟期降至最低(图2)。不同灌溉模式下茎秆机械强度均随密度增大而减

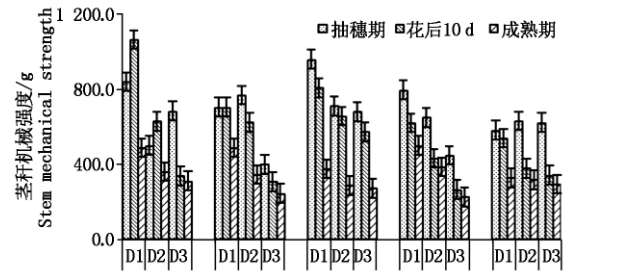


图2 不同组合茎秆的机械强度

Fig.2 Stem mechanical strength of different combinations

对茎秆机械强度的分析表明(表6),不同灌溉模式间茎秆机械强度差异极显著,且在各时期变化各异。抽穗期茎秆机械强度以W1b>W0>W2>W1j>W3,花后10 d以W1b>W0>W1j>W3>W2,成熟期则以W0>W2>W1j>W3>W1b。W1b和W0茎秆机械强度在花后10 d迅速降低,W2则在抽穗期迅速降低,抽穗后降低较为缓慢。

表6 灌溉模式对茎秆机械强度影响的主效应

Tab.6 Main effect of irrigation schedules on stem mechanical strength				g
灌溉模式 Irrigation schedules	抽穗期 Heading	花后 10 d 10 d at post-anthesis	成熟期 Maturity	
W0	674.2 bB	677.0 aA	386.4 aA	
W1j	623.7 bcB	570.9 bB	359.8 abAB	
W1b	782.4 aA	678.9 aA	312.5 bB	
W2	630.5 bcB	406.1 cC	371.3 aAB	
W3	610.9 cB	420.4 cC	314.3 bB	

2.1.6 单位茎秆干质量 花后10 d至成熟期,随着灌浆过程的进行,单位茎秆干质量逐渐降低(表7)。不同灌溉模式下单位茎秆干质量均随密度增

大而降低。同一密度不同灌溉模式间比较,灌水越多或越早,单位茎秆干质量越低。花后 10 d 和成熟期单位茎秆干质量和基部一二节间单位干质量基本

上以 W0D1、W1jD1 与 W1bD1 最高。单位长度茎秆干物质输出量和基部一二节间干物质输出量均以 W1jD1 最高。

表 7 不同组合单位长度茎秆和节间干质量及干物质输出量

Tab.7 Dry weight and dry matter output of stem and basal internodos per centimeter of different combinations mg/cm							
灌溉模式 Irrigation schedules	密度 Densities	茎秆 Stem		基部一二节间 Basal internodes		干物质输出量 Dry matter output	
		花后 10 d	成熟期	花后 10 d	成熟期	茎秆	基部一二节间
		10 d at post-anthesis	Maturity	10 d at post-anthesis	Maturity	Stem	Basal internodes
W0	D1	19.41	11.85	31.35	18.66	7.56	12.69
	D2	15.67	9.54	25.06	15.10	6.13	9.96
	D3	14.21	8.11	21.64	12.64	6.10	9.00
W1j	D1	19.03	10.78	31.97	14.88	8.25	17.09
	D2	14.81	9.34	21.12	13.59	5.47	7.53
	D3	14.32	7.61	16.48	8.60	6.71	7.89
W1b	D1	17.88	11.73	28.90	17.34	6.15	11.56
	D2	14.71	8.95	21.22	12.32	5.76	8.90
	D3	14.56	9.57	22.98	13.92	4.99	9.06
W2	D1	16.61	10.72	27.76	15.39	5.89	12.36
	D2	13.89	11.59	20.57	13.97	2.31	6.60
	D3	10.63	7.86	14.54	14.45	2.77	0.34
W3	D1	13.72	8.96	20.74	13.29	4.76	7.45
	D2	12.77	9.99	18.80	15.02	2.78	3.77
	D3	10.62	9.39	15.04	13.89	1.23	1.15

统计分析表明,不同灌溉模式间单位茎秆干质量及干物质转移量差异较为显著(表 8)。单位茎秆干质量在花后 10 d 以 W0 > W1j > W1b > W2 > W3; 成熟期以 W1b > W2 > W0 > W3 > W1j。基部一二节

间单位干质量在花后 10 天以 W0 > W1b > W1j > W2 > W3,成熟期以 W0 > W2 > W1b > W3 > W1j。茎秆与基部一二节间干物质输出量(或输出率)则随灌水次数增多显著降低。

表 8 灌溉模式对单位茎秆及节间干质量及干物质输出量影响的主效应

Tab.8 Main effect of irrigation schedules on dry weight and dry matter output of stem and basal internodes per centimeter						
灌溉模式 Irrigation schedules	单位茎秆干质量 Stem dry weight per centimeter		基部一二节间单位干质量 Dry weight basal internodes per centimeter		干物质输出量 Dry matter output	
	花后 10 d	成熟期	花后 10 d	成熟期	茎秆	基部一二节间
	10 d at post-anthesis	Maturity	10 d at post-anthesis	Maturity	Stem	Basal internodes
W0	16.43 aA	9.83 abAB	26.02 aA	15.47 aA	6.60 aA	10.55 aA
W1j	16.05 abAB	9.24 cB	23.19 cC	12.36 dC	6.81 aA	10.84 aA
W1b	15.72 bB	10.08aA	24.37 bB	14.53 bcB	5.63 bB	9.84 bB
W2	13.71 cC	10.06aA	20.96 dD	14.60 bB	3.66 cC	7.20 cC
W3	12.37 dD	9.45 bcAB	18.19 eE	14.07 cB	2.92 dD	4.12 dD

2.2 小麦茎秆倒伏指数及产量

茎秆倒伏指数即茎秆鲜质量和重心高度的乘积与茎秆机械强度之比^[10]。倒伏指数越低,表明茎秆抗倒伏能力越强。不同灌溉模式下倒伏指数均随密度增大而增高(图 3)。灌水越多,灌水越早,倒伏指数也越高。本研究中,花后 10 d 和成熟期均以 W2D3 倒伏指数最高,W0D1 倒伏指数最低。对小麦产量的分析表明,产量较高的组合,倒伏指数相对也较高。本研究中,W2D2 产量最高,达 8 321.75 kg/hm²;其次为 W2D3,产量为 7 935.58 kg/hm²,但前者倒伏指数显著低于后者。

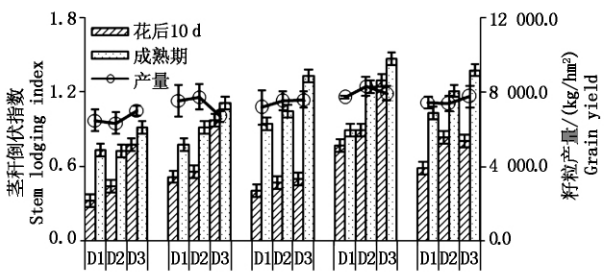


图 3 不同组合的茎秆倒伏指数与产量

Fig.3 Stem lodging index and grain yield of different combinations

对灌溉模式下的倒伏指数及产量进行多重比较

(表 9) 倒伏指数与产量在灌溉模式间存在显著或极显著的差异。茎秆倒伏指数在花后 10 d 以 $W2 > W3 > W1j > W0 > W1b$; 成熟期则以 $W3 > W2 > W1b > W1j > W0$ 。产量高低以 $W2 > W3 > W1b > W1j > W0$ 。

2.3 茎秆特征及产量与倒伏指数的相关分析

茎秆特征参数及产量与各时期倒伏指数的相关分析表明(表 10) 除了茎秆粗度与倒伏指数的相关性较弱外,其他茎秆特征参数和产量均与倒伏指数表现出高度的相关性。也就是说茎秆机械强度高,单位长度茎秆干质量越重,越有利于抗倒伏。与此同时,产量与成熟期倒伏指数呈显著正相关,即产量越高,倒伏的风险越大。由此可见,在小麦实际生产过程中,在适宜的密度下采用合理的灌溉模式,可

以改善小麦茎秆的形态指标和生理指标,为小麦的高产抗倒奠定基础。

表 9 灌溉模式对茎秆倒伏指数与产量影响的主效应

Tab.9 Main effect of irrigation schedules on stem lodging index and grain yield

灌溉模式 Irrigation schedules	花后 10 d 的倒伏指数 lodging index at 10 d at post-anthesis	成熟期的倒伏指数 lodging index at Maturity	产量 /(kg/hm ²) Grain yield
W0	0.61 dD	0.79 dD	6611.49 cB
W1j	0.73 cC	0.94 cC	7334.34 bA
W1b	0.60 dD	1.11 bB	7443.36 bA
W2	1.11 aA	1.16 aAB	7997.06 aA
W3	0.91 bB	1.21 aA	7536.01 abA

表 10 茎秆特征和产量与倒伏指数的相关分析

Tab.10 Correlation analysis among stem traits grain yield and stem lodging index

指标 Indexes	花后 10 d 10 d at post-anthesis	成熟期 Maturity
单位长度茎秆干质量 Stem dry weight per centimeter	-0.72 **	-0.42
基部一二节间单位干质量 Dry weight of the basal and second internodes per centimeter	-0.72 **	-0.33
茎秆重心高度 Stem gravity height	0.81 **	0.57 *
茎秆机械强度 Stem mechanical strength	-0.84 **	-0.73 **
株高 Plant height	0.35	0.75 **
基部第一节间粗度 Stem diameter of the basal internodes	-0.30	-0.28
基部第二节间粗度 Stem diameter of the second internodes	-0.19	-0.08
产量 Grain yield	0.41	0.56 *

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

3 讨论与结论

3.1 茎秆特征参数与倒伏指数的相关分析

茎秆倒伏指数是一个综合指标,可作为作物抗倒伏能力的直接证据^[7,11]。茎秆倒伏指数与株高、茎粗和茎重等特征密切相关^[5,11,12]。一些研究指出,茎粗与倒伏有密切的关系^[7,11],因而在抗倒育种中经常将茎粗作为重要的选择指标。但在燕麦和大麦中,茎粗越粗,茎秆强度反而降低^[13,14],抗倒能力下降。一些小麦、大麦和水稻的研究结果也显示^[15-18],茎粗可能不是影响茎秆倒伏指数的主要因子。本研究结果表明,不同灌溉模式下茎粗与茎秆倒伏指数相关性较差,而其他茎秆特征参数如株高、重心、高度等与倒伏指数高度相关。由此说明,即使小麦的茎秆较粗,但如果充实度低,抗倒性不一定强^[1]。因此,在不同灌溉模式下,评价茎秆质量优劣时,用机械强度与茎秆干质量等指标,将粗度和其他性状联系在一起,更具有实际意义。

3.2 灌溉模式对小麦茎秆特征参数的影响

小麦茎秆和节间既能贮存干物质,也能提供干物质为灌浆所用^[1]。本研究中,茎秆与基部一二节

间的单位干质量及干物质输出量在花后 10 d 均随灌水次数增多显著降低。究其原因可能是因为灌溉次数增多使群体叶面积增大和透光率降低所致。W2 和 W3 群体较大,其内部光照条件影响了茎秆干物质积累量的增加;但与此同时,灌水次数增加使得叶面积衰减慢,群体光合生产能力强,表观上降低了灌浆期茎秆干物质向籽粒的转运量。W0 和 W1b 群体内部光照条件好,基部节间短粗,机械强度高,茎秆干物质积累多;但是群体内部光照过强,引起灌浆速度过快造成植株早衰,反而导致茎秆及节间干物质过早过快向外转运。W1j 群体较大,但后期干旱条件下小分蘖消亡,行内株间光照条件得到了改善,促进了茎秆干物质的积累。有研究表明良好的光照条件可改善茎秆干物质积累量^[19]。成熟期茎秆与基部一二节间单位干重以 W2 显著高于 W0、W3 与 W1j。W1j 在成熟期干质量降至最低,这可能是因为后期干旱导致群体光合能力下降,叶片生产的干物质不敷籽粒灌浆需求。茎秆的部分结构物质分解并向籽粒转运,干质量迅速降低。W2 在抽穗至成熟期群体仍具有较高的光合生产能力,茎秆能二次增重,表观上降低了抽穗前光合贮藏物的输出

量。

株高随灌水次数的增多呈低-高-低的趋势,产量变化亦如此。由此表明,在一定范围内,株高的增加有利于增产。这主要是因为较高的株高有利于叶层在空间扩展,受光量增加,利于提高对光能的利用^[1];但从茎秆抗倒性能看,株高较高,重心高度上升,不利于抗倒。为解决这对矛盾,在株型的塑造上应缩短基部节间长度,即增强基部节间的机械强度,减少基部节间茎鞘干物质的转运量,增强叶片光合作用,而这些都依赖于群体的光照条件。几种灌溉模式中,W2株高较高,灌浆期间机械强度减弱较为缓慢,基部节间干物质转运量少,群体光合能力强,产量较高。

3.3 灌溉模式与密度对小麦茎秆特征及倒伏的影响

灌溉显著影响了小麦的茎秆特征和倒伏指数。在一定灌溉量范围内,增加灌溉次数引起株高增高,重心高度上升,茎秆粗度变细,茎秆倒伏几率增加。同样在灌溉次数较少的情况下增加密度也具有同样的作用。

综合分析灌溉模式与密度对茎秆形态特征和倒伏指数的影响,发现增加灌溉次数与增大密度对茎秆倒伏指数的影响具有叠加作用。其原因主要是因为灌溉模式与密度共同影响着群体内部的光照条件。灌3水的群体在密度增加的情况下由于群体过于繁茂,基部光照往往相对不足,造成茎秆细弱,茎秆干质量较低,抗倒伏能力差;不灌水或只灌1水的群体生长规模小,繁茂程度低,常规密度下(D2)茎秆基部光照条件就能得到满足,所以抗倒伏能力较强。在这种条件下,降低密度(D1)群体规模会变得更小,茎叶稀疏使光照过强,引起灌浆速度过快造成了早衰,反而导致茎秆干物质过早过快向外转运。灌2水的群体,常规密度下(D2)冠层上方光截获较多,利于群体光合生产力的提高,同时基部光照条件良好,良好的光照有利于茎秆结构性物质的积累,最终保证了小麦生产的高产不倒。因为茎秆结构物质的形成离不开光照。有报道也表明光照条件的改善与茎秆基部抗倒伏能力的提高有一致的关系^[20 21]。因此,在小麦实际生产过程中,采用适宜的密度和灌溉模式,建立合理的群体结构,方可改善基部节间的光照条件,培育健壮的个体,进而建立高产抗倒群体。

参考文献:

- [1] 凌启鸿. 作物群体质量[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2000.
- [2] 于振文. 作物栽培学各论[M]. 北京: 中国农业出版

社, 2003.

- [3] Carolina Saint Pierre, Richard Trethowan, Matthew Reynolds. Stem solidness and its relationship to water-soluble carbohydrates: association with wheat yield under water deficit[J]. Functional Plant Biology, 2010, 37: 166-174.
- [4] Hayat M A, Martin J M, Lanning S P *et al.* Variation for stem solidness and its association with agronomic traits in spring wheat [J]. Canadian Journal of Plant Science, 1995, 75: 775-780.
- [5] 郭玉华, 朱四光, 张龙步, 等. 不同栽培条件对水稻茎秆材料学特性的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2003, 34(1): 4-7.
- [6] 龚建军. 播种量和氮肥水平对燕麦倒伏和产量的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2007.
- [7] 李金才, 尹 钧, 魏凤珍. 播种密度对冬小麦茎秆形态特征和抗倒指数的影响[J]. 作物学报, 2005, 31(5): 662-666.
- [8] 龚有锐. 小麦的倒伏和防止措施[J]. 湖北农业科学, 1982(9): 4-7.
- [9] 刘兴堂. 高产田小麦倒伏原因及其防止措施[J]. 新疆农垦科技, 1989(4): 1-2.
- [10] 王 勇, 李朝恒, 李安飞, 等. 小麦品种茎秆质量的初步研究[J]. 麦类作物, 1997, 17(3): 28-31.
- [11] 杨惠杰, 杨仁崔, 李义珍, 等. 水稻茎秆性状与抗倒性的关系[J]. 福建农业学报, 2000, 15(2): 1-7.
- [12] Zuber U, Winzeler H, Messmer M M *et al.* Morphological traits associated with lodging resistance of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Agronomic Crop Science Zeitsch Acker Und, 1999, 182(1): 17-24.
- [13] Norden A J, Frey K J. Factors associated with lodging resistance in oats [J]. Agronomic Journal, 1970, 51: 335-338.
- [14] Dunn G J, Briggs K G. Variation in stem anatomy among barley cultivars differing in lodging resistance [J]. Canadian Journal Botany, 1989, 67: 1838-1843.
- [15] 高如嵩, 孙鹏举, 李文瑞. 高产大麦品种抗倒伏性的研究[J]. 陕西农业科学, 1990(1): 5-9.
- [16] 董 琦. 不同播种密度对小麦抗倒形态特征及若干生理特性影响的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2001.
- [17] Kokubo A, Kuraishi S, Sakurai N. Stem strength of barley: Correlation among maximum bending stress, cell wall dimensions and cellulose content [J]. Plant Physiology, 1989, 91: 876-882.
- [18] Kashiwagi T, Ishimaru K. Identification and functional analysis of a locus for improvement of lodging resistance in rice [J]. Plant Physiology, 2004, 134: 676-683.
- [19] 闫 川, 丁艳锋, 王强盛, 等. 行株距配置对水稻茎秆形态生理与群体生态的影响[J]. 中国水稻科学, 2007, 21(5): 530-536.
- [20] Ookawa T, Ishihara K. Varietal differences in the physical characteristics of the stem in relation to lodging resistance in paddy rice [J]. Japanese Journal of Crop Science, 1992, 61(3): 419-425.
- [21] Ookawa T, Ishihara K. Varietal difference of the cell wall components affecting the bending stress of the stem in relating to the lodging resistance in paddy rice [J]. Japanese Journal of Crop Science, 1993, 62(3): 378-384.