

水肥耦合对冬小麦产量及其构成因素的影响

郑志松¹, 王建敏²

(1. 河南省农业广播电视学校, 河南 郑州 450008; 2. 河南省植物保护植物检疫站, 河南 郑州 450002)

摘要: 为了解不同水、肥条件下冬小麦的光合特性及产量变化, 2009—2011 年在洛阳农林科学院以洛旱 2 号小麦为材料, 采用防雨棚池栽培方式, 研究了不同灌水量、施氮和施磷量及其互作对冬小麦产量及其构成因素的影响。结果表明: 灌水量对冬小麦产量及其构成因素的调控效应极显著($P \leq 0.01$)。随灌水量增加, 总茎数及最终成穗数增加, 越冬及拔节期总茎数在灌水量 282.0 mm 时最大, 2 a 平均分别为 715.6 万、965.9 万茎/hm², 最终成穗数在灌水量 308.5 mm 时最大, 2 a 平均值为 403.0 万穗/hm²; 穗粒数及产量在灌水量 308.5 mm 时达最大, 2 a 平均分别为 29.2 粒和 5 934.0 kg/hm², 千粒重在灌水量 282.0 mm 时最大, 2 a 平均值 46.3 g。在施氮量 30.8~179.2 kg/hm², 总茎数随施氮量增加呈上升趋势; 产量在 0~105.0 kg/hm² 间呈增加趋势。从水肥耦合的效应看, N_{179.2}P₁₂₆W₂₈₂ 处理组合对总茎数的调控效应较大, 产量以 N₁₀₅P₄₂W_{308.5} 处理组合最大, 千粒重以 N_{30.8}P₁₂₆W₂₈₂ 处理组合最大。

关键词: 冬小麦; 水肥耦合; 总茎数动态; 产量及构成因素

中图分类号: S512.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2012)08-0026-08

Combining Influence of Irrigation and Fertilizer on Grain Yield and Its Components of Winter Wheat

ZHENG Zhi-song¹, WANG Jian-min²

(1. Henan Agricultural Broadcasting and Television College, Zhengzhou 450008, China;

2. Henan Province Plant Protection and Plant Quarantine Station, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The winter wheat cultivar Luohan 2 was used in the field experiment conducted in Luoyang under rain-shelter condition during 2009—2010 and 2010—2011 cropping seasons. The objective of the experiment was to evaluate the effects of irrigation and nitrogen/phosphorus fertilization on grain yield and its components of winter wheat in the semiarid region of west Henan province. The experiment was a factorial combination of 5 irrigation, nitrogen and phosphorus application rates, each in 3 replicates. The results indicated that irrigation had significant effects on grain yield and its components ($P \leq 0.01$) of winter wheat. Both the culm population and ear number increased with the enhance of irrigation amount. The culm population at wintering and jointing stage got the largest values (715.6×10^4 and 965.9×10^4 per hectare, respectively) in irrigation treatment of 282.0 mm, and ear number reached the highest value (403.0×10^4 per hectare, averaged for two years' data) at irrigation amount of 308.5 mm. Grain number per ear and grain yield reached the highest values (29.2 grains and 5 934.0 kg/ha, respectively) at irrigation amount of 308.5 mm, while thousand kernel weight (TKW) got the highest value (46.3 g) at irrigation amount of 282.0 mm. The culm population increased with the nitrogen application improvement from 30.8 kg/ha to 179.2 kg/ha. Grain yield increased when nitrogen application in-

收稿日期: 2012-05-10

基金项目: 农业部公益性行业科研专项(201203031; 201203079)

作者简介: 郑志松(1963-), 男, 河南温县人, 高级农艺师, 博士, 主要从事作物栽培与生理生态研究。

E-mail: hnzzs666@163.com

creased from 0 kg/ha to 105.0 kg/ha. The treatment $N_{179.2}P_{126}W_{282}$ obtained the largest culm population, the treatment $N_{105}P_{42}W_{308.5}$ got the largest values for grain yield, and the treatment $N_{30.8}P_{126}W_{282}$ had the highest TKW.

Key words: winter wheat; water and fertilizer interaction; dynamic culm population; grain yield and yield components

良好的群体质量是小麦产量的重要基础,而合理的水肥供应则是提高小麦群体质量的关键。李友军等^[1]和许昌惠等^[2]认为,拔节期重施氮肥可以显著改善小麦群体质量,提高分蘖成穗率,保证稳定的成穗数,促进干物质积累和籽粒灌浆,增加穗粒数和千粒重,显著提高小麦产量。密度相同条件下,拔节期施氮量对小麦群体性状的改善效应和增产效果不同,但均呈抛物线变化。叶优良等^[3]对豫麦 49-198 及兰考矮早八的研究表明,小麦群体数量从出苗开始不断增加,在拔节期达到最高值,然后开始下降,并且在不同氮素水平下,豫麦 49-198 的群体数量越冬期、返青期无显著差异,但拔节期后差异显著,而兰考矮早八群体数量在各生育时期不同氮素水平下均无显著差异。刘强等^[4]认为,基肥比例高的处理群体大,拔节期追氮比例高、追氮期延迟的处理群体相对较小。黄令峰等^[5]研究表明,旱地小麦增加补灌次数和补灌量,光合功能持续期延长,产量和产量构成因素增加,以补灌越冬、拔节、灌浆三水的处理效果最佳,但产量没有显著差异,同时,随着补灌次数和补灌量继续增加,千粒重、穗粒数和产量反而下降,开始产生负效应。为此,针对河南省西部旱地(豫西旱地)的气候特点,利用遮雨棚模拟的方式,研究了不同水肥耦合条件对不同生育期冬小麦总茎数动态变化、产量及其构成因子等的影响,旨在探讨水肥耦合条件下产量及其构成因子的关系,做到以肥调水、以水促肥,促进旱地农业持续有效增产。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于 2009—2010 年在洛阳农林科学院旱作农业研究中心自动干旱棚内进行,小区为 $1\text{ m} \times 2\text{ m}$ 的无底型水泥池,池四周覆有防止水分侧渗的防水膜,遇雨盖棚,全年防雨水进入。土壤为褐土,耕层容重 1.53 g/cm^3 ,田间持水量 23.48% ;土壤耕层有机质 15.8 g/kg ,碱解氮 62.7 mg/kg ,速效磷 10.39 mg/kg ,速效钾 166.0 mg/kg 。

试验采用三因素(施氮量 N、施磷量 P、灌水量 W)裂区设计。供试品种为洛旱 2 号。灌水量(W)以洛阳近 20 a 的降水量为依据,以每月占年平均降水量的加

权值进行分配,每月均有灌水,整个生育期灌水设置 5 个水平:127.0、153.5、217.5、282.0、308.5 mm;施氮量(N)设置 5 个水平:不施氮(0)、30.8、105.0、179.2、210.0 kg/hm^2 ;施磷量(P_2O_5)设置 5 个水平:不施磷(0)、42.0、84.0、126.0、168.0 kg/hm^2 ;肥料作基肥一次性施入。施用肥料,N 肥为硫酸铵(含 N 21%),P 肥为重过磷酸钙(含 P_2O_5 43%)。各处理重复 3 次,基本苗每池 480 株(240 万株/ hm^2),小麦播种前及收获后取 0~100 cm 土层土样测定其水分含量。

1.2 测定项目和方法

分别于冬小麦越冬期、拔节期、成熟期调查总茎数;小麦成熟期,各小区单收,计算产量。

1.3 统计方法

使用 SPSS 15.0 和 Excel 软件对试验数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 灌水量对冬小麦产量及其构成因素的调控效应

2.1.1 灌水量对冬小麦总茎数及成穗数的调控效应 2 a 间,灌水量对冬小麦越冬期、拔节期、成熟期总茎数的调控效应均达显著水平($P \leq 0.05$),表明旱地水分是影响分蘖及成穗的主要因素。从图 1 可以看出,2010 年越冬期总茎数在灌水量 282.0 mm 时最大(574.25 万茎/ hm^2),灌水量 308.5、217.5 mm 2 个处理次之,且 3 个处理间差异不显著,但均与 127.0 mm 处理(375.0 万茎/ hm^2)差异显著,分别高 53.1%、43.6%、31.6%;拔节期总茎数在不同灌水处理间的趋势与越冬期一致,即在灌水量 282.0 mm 达最大值(974.5 万茎/ hm^2),与灌水量 127.0 mm 处理差异显著,成熟期成穗数以灌水量 308.5、282.0 mm 最大,2 个处理间差异不显著,但与 217.5 mm 处理差异均显著,308.5、282.0、217.5 mm 3 个处理又均与 127.0、153.5 mm 2 个处理差异显著。随冬小麦生长发育进程,2 a 间冬小麦总茎数均在拔节期达最大值。

2011 年越冬期总茎数在灌水量 282.0 mm 时最大(857.0 万茎/ hm^2),且与灌水量 217.5、153.5、308.5 mm 3 个处理差异显著,而这 3 个处理间差异不显著;拔节期总茎数也在灌水量 282.0 mm 达最

大值(957.25 万茎/hm²),灌水量 308.5、217.5 mm 2 个处理次之,且 3 个处理间差异不显著,但均与 127.0 mm 处理(457.05 万茎/hm²)差异显著;成熟期成穗数以灌水量 308.5、282.0 mm 最大,2 个处理间差异不显著,但与 217.5 mm 处理差异均显著,308.5、282.0、217.5 mm 3 个处理又均与 127.0、

153.5 mm 2 个处理差异显著。

综合 2 a 分析结果可得,随灌水量增加,冬小麦越冬期、拔节期总茎数均呈先增后降趋势,在灌水量 282.0 mm 时最大,且 2 a 平均值分别为 715.6 万、965.9 万茎/hm²,成熟期成穗数呈上升趋势,在灌水量 308.5 mm 时最大,2 a 平均值为 403.0 万穗/hm²。

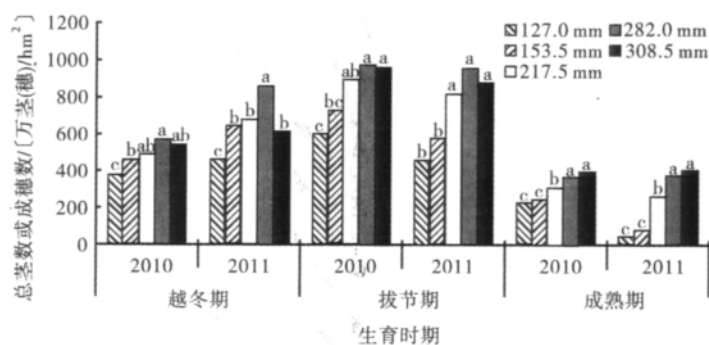


图 1 不同灌水量条件下冬小麦总茎数及成穗数的变化

2.1.2 灌水量对冬小麦产量及其构成因素的调控效应 2 年度,灌水量对冬小麦产量及穗粒数的调控效应均达显著水平($P < 0.05$),表明旱地水分是冬小麦穗粒数和籽粒产量提高的主要限制因素。从图 2 可以看出,2010 年冬小麦产量在灌水量 308.5 mm 处理时最大,为 6 804.5 kg/hm²,与 282.0 mm 处理差异显著,两者均与 217.5 mm 处理差异显著,308.5、282.0、217.5 mm 3 个处理均与 127.0 mm 处理差异显著,分

别高出 283.6%、225.8%、159.2%;千粒重在灌水量 282.0 mm 达最大值(52.08 g),比 127.0 mm 处理高 8.6%,但差异不显著;穗粒数在灌水量 308.5 mm 处理时达最大值为 26.7 粒,与 282.0 mm 处理差异不显著,而均与 217.5 mm 处理差异达显著水平,且三者均与 127.0、153.5 mm 2 个处理差异显著,分别比 127.0 mm 处理最低值高出 78.0%、63.3%、38.0%。

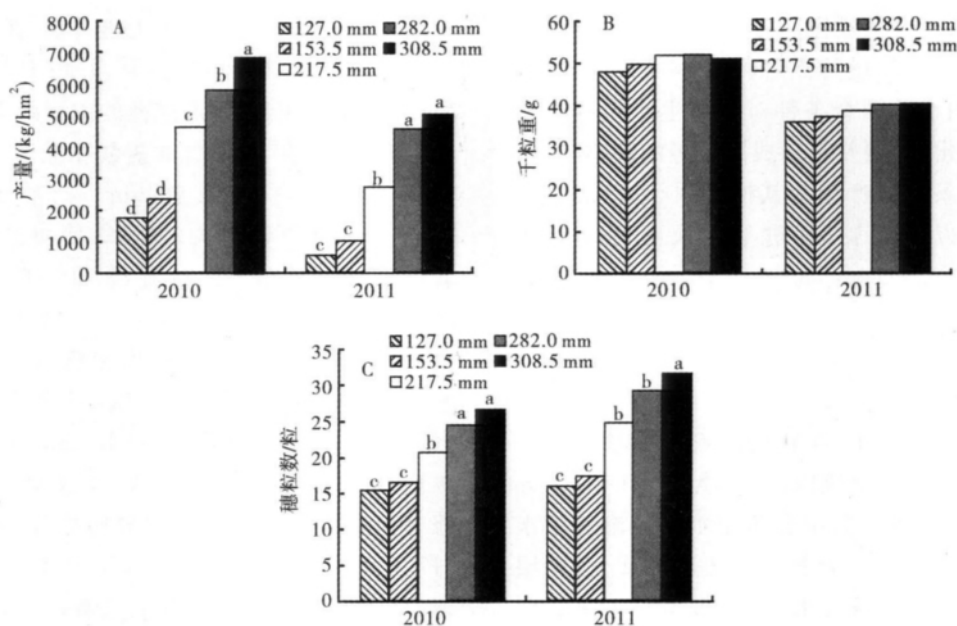


图 2 不同灌水量条件下冬小麦产量(A)、千粒重(B)、穗粒数(C)的变化

2011 年冬小麦产量在灌水量 308.5 mm 处理时最大,为 4 999.5 kg/hm²,与 282.0 mm 处理差异不显著,两者均与 217.5 mm 处理差异均显著,千粒

重在灌水量 282.0 mm 达最大值(40.37 g),比 127.0 mm 处理高 11.6%,但差异不显著。

综合 2 a 分析结果可得,随灌水量增加,冬小麦

穗粒数及产量均呈增加趋势,在灌水量 308.5 mm 达最大,2 a 平均分别为 29.2 粒和 5 934 kg/hm²,千粒重随灌水量增加则呈先增后降趋势,各处理差异不显著,在灌水量 282.0 mm 最大,2 a 平均为 46.3 g。

2.2 施氮量对冬小麦产量及其构成因素的调控效应

2.2.1 施氮量对冬小麦总茎数动态及成穗数的调控效应 从图 3 可以看出,施氮量对冬小麦总茎数调控效应在 2 a 间变化不同。2010 年越冬期总茎数、成熟期成穗数在施氮量 179.2 kg/hm² 达最大

值,分别为 539.0 万、345.5 万茎/hm²,拔节期总茎数在施氮量 210.0 kg/hm² 达最大值,为 993.5 万茎/hm²,且越冬期、拔节期总茎数及成熟期成穗数最大值分别比同期最小值高 14.5%、30.4%、28.1%,但差异不显著;2011 年,越冬期总茎数在施氮量 30.8 kg/hm² 达最大值,拔节期总茎数在施氮量 179.2 kg/hm² 达最大值,成熟期成穗数在施氮量 105.0 kg/hm² 达最大值,分别比同期最小值高 29.2%、21.2%、17.9%,但差异不显著;且随冬小麦生长发育进程,2 a 间冬小麦总茎数均在拔节期达最大值。

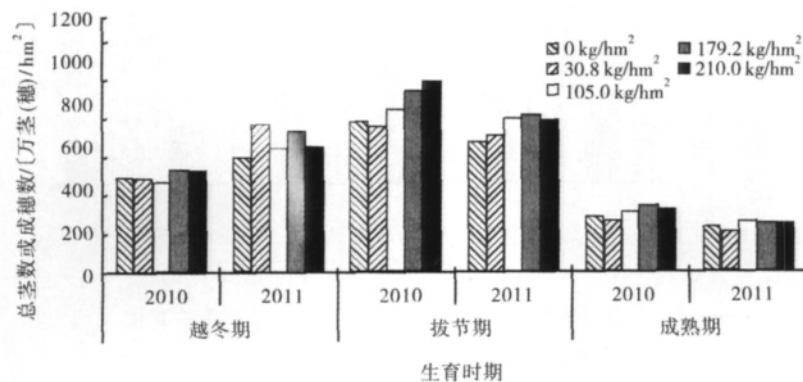


图3 不同施氮量条件下冬小麦总茎数及成穗数的变化

2.2.2 施氮量对冬小麦产量及其构成因素的调控效应 从图 4 可以看出,施氮量对冬小麦产量的调控效应在 2 a 间变化不同。2010 年,产量在施氮量 210.0 kg/hm² 达最高值,为 4 776.5 kg/hm²,在施氮量

0 kg/hm² 最低,为 3 171.4 kg/hm²;2011 年,产量在施氮量 179.2 kg/hm² 达最高值,为 2 848.0 kg/hm²,在施氮量 0 kg/hm² 最低,为 2 083.1 kg/hm²。2 a 产量最大值分别比最低值高 50.6%、36.7%,但差异不显著。

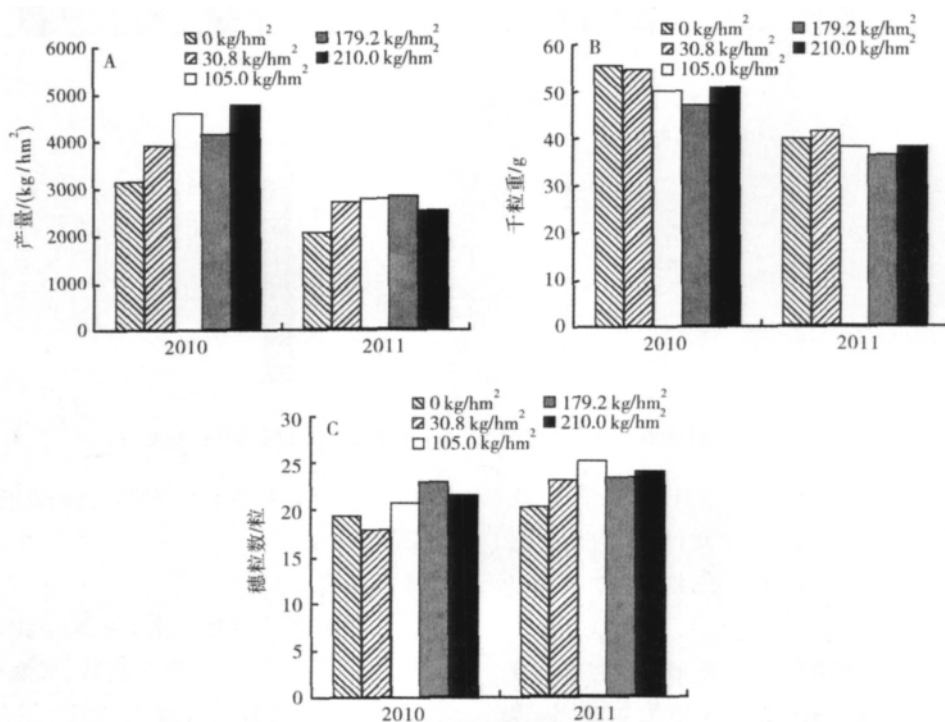


图4 不同施氮量条件下冬小麦产量(A)、千粒重(B)、穗粒数(C)的变化

在 30.8~210.0 kg/hm², 随施氮量增加, 2 a 间冬小麦产量构成因素千粒重均呈先降后增趋势, 在施氮量 179.2 kg/hm² 时最低。

2.3 施磷量对冬小麦产量及其构成因素的调控效应

2.3.1 施磷量对冬小麦总茎数及成穗数的调控效应

从图 5 可以看出, 2010 年, 越冬期总茎数在施磷量 84.0 kg/hm² 达最大值, 为 517.5 万茎/hm², 拔节期总茎数、成熟期成穗数在施磷量 168.0 kg/hm² 达最大值;

2011 年, 越冬期、拔节期总茎数在施磷量 168.0 kg/hm² 达最大值, 分别为 821.5 万、905.0 万茎/hm², 成熟期成穗数在施磷量 84.0 kg/hm² 达最大值, 为 302.0 万茎/hm²。

2.3.2 施磷量对冬小麦产量及其构成因素的调控效应 从图 6 可以看出, 2010 年, 冬小麦产量在施磷量 168.0 kg/hm² 达最高值, 在施磷量 126.0 kg/hm² 最低; 2011 年, 冬小麦产量在施磷量 42.0 kg/hm² 达最高值, 在施磷量 0 kg/hm² 最低。

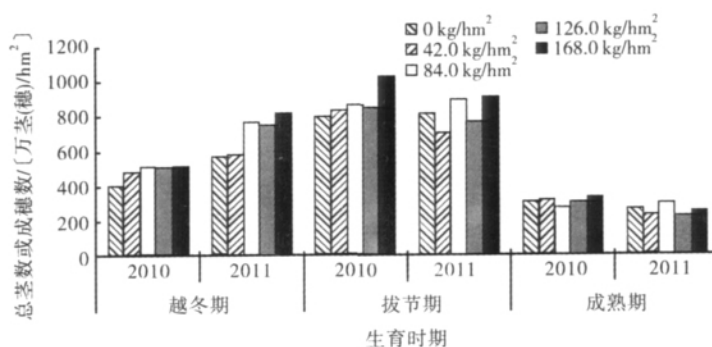


图 5 不同施磷量条件下冬小麦总茎数及成穗数的变化

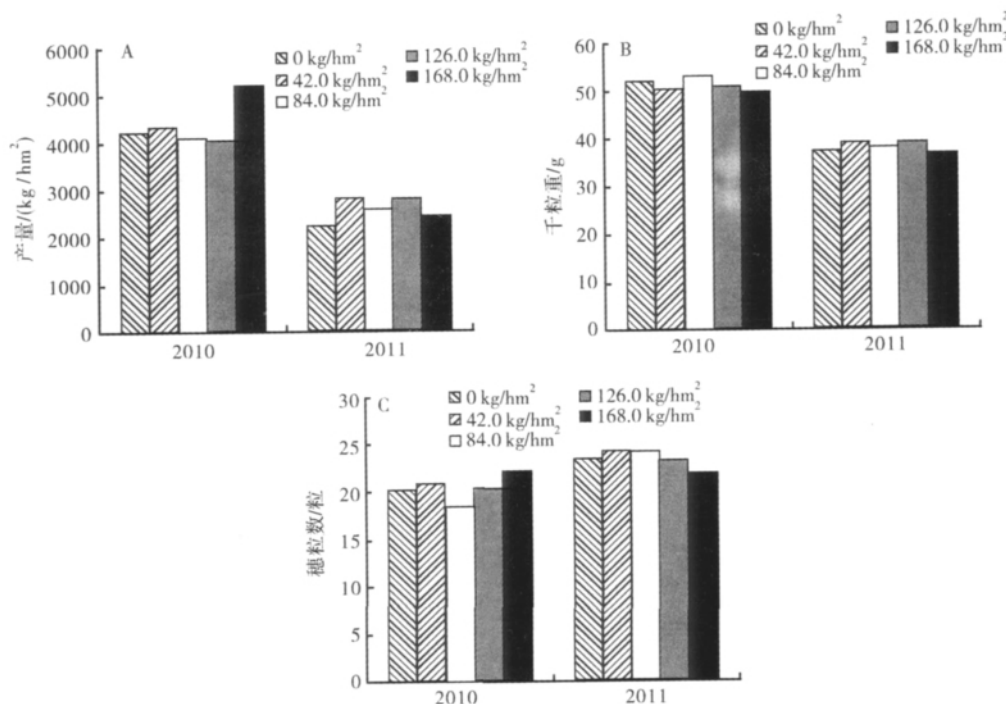


图 6 不同施磷量条件下冬小麦产量(A)、千粒重(B)、穗粒数(C)的变化

2010 年, 千粒重在施磷处理 84.0 kg/hm² 达最高值, 在施磷量 168.0 kg/hm² 最低; 2011 年, 在施磷量 42.0 kg/hm² 达最高值, 在施磷量 168.0 kg/hm² 最低。

2010 年, 冬小麦穗粒数在施磷处理 168.0 kg/hm² 达最高值, 2011 年, 穗粒数在施磷量 84.0 kg/hm² 达最高值。

2.4 水肥耦合对冬小麦产量及其构成因素的调控效应

2.4.1 水肥耦合对冬小麦总茎数及成穗数的调控效应

从表 1 可以看出, 2010 年在越冬期 N_{30.8} P₁₂₆ W₂₈₂ 处理组合总茎数最大, 与 N_{179.2} P₁₂₆ W₂₈₂ 总茎数表现无显著差异, 拔节期总茎数、成熟期成穗数均是 N_{179.2} P₁₂₆ W₂₈₂ 处理组合最大; 2011 年在越冬期 N_{30.8} P₁₂₆ W₂₈₂ 处理组合总茎数最大, N_{179.2} P₁₂₆ W₂₈₂ 总茎数

表现与最大值间无显著差异,拔节期总茎数、成熟期成穗数均是 $N_{179.2}P_{126}W_{282}$ 最大。因此,综合 2 a 分析结果,处理组合 $N_{179.2}P_{126}W_{282}$ 对冬小麦总茎数影响较大。

表 1 水、氮肥和磷肥互作对冬小麦总茎数及成穗数的调控效应

年份	处理	越冬期总茎数/(万茎/hm ²)	拔节期总茎数/(万茎/hm ²)	成熟期成穗数/(万穗/hm ²)
2010	$N_{105}P_{168}W_{217.5}$	517.00±29.55a	1029.00±63.04a	336.50±16.64b
	$N_{105}P_0W_{217.5}$	406.00±27.31b	795.50±55.05cd	306.50±3.61bc
	$N_{30.8}P_{126}W_{153.5}$	403.50±20.48b	610.00±11.95e	243.50±4.09ef
	$N_{30.8}P_{126}W_{282}$	588.00±25.05a	914.00±39.88abcd	296.50±14.73bcd
	$N_{179.2}P_{126}W_{153.5}$	517.50±23.43a	848.50±38.35bcd	253.00±8.05def
	$N_{179.2}P_{126}W_{282}$	560.50±47.63a	1 035.00±39.41a	438.50±12.17a
	$N_{105}P_{42}W_{308.5}$	538.50±32.08a	956.00±0.00abc	401.00±5.22a
	$N_{105}P_{42}W_{127}$	375.00±21.28b	605.50±88.16e	226.00±12.26f
	$N_{210}P_{42}W_{217.5}$	528.00±41.11a	993.50±50.69ab	324.00±15.02bc
	$N_0P_{42}W_{217.5}$	498.50±20.88a	786.35±70.09d	291.50±30.81cd
2011	$N_{105}P_{84}W_{217.5}$	517.50±9.64a	863.00±11.63bcd	279.50±5.77cde
	$N_{105}P_{168}W_{217.5}$	821.50±15.06a	905.00±36.76ab	254.00±22.98d
	$N_{105}P_0W_{217.5}$	575.00±11.79cd	813.50±76.69bc	269.50±17.52cd
	$N_{30.8}P_{126}W_{153.5}$	650.85±68.45bc	581.50±37.64de	81.00±7.79e
	$N_{30.8}P_{126}W_{282}$	885.00±11.32a	846.50±99.60bc	338.50±7.86bc
	$N_{179.2}P_{126}W_{153.5}$	643.50±28.83bc	576.00±49.12de	80.00±8.41e
	$N_{179.2}P_{126}W_{282}$	829.00±50.07a	1 068.00±60.10a	418.00±27.69a
	$N_{105}P_{42}W_{308.5}$	609.50±77.29cd	880.00±113.40abc	405.00±5.68ab
	$N_{105}P_{42}W_{127}$	463.00±46.35d	457.05±19.51e	47.00±12.32e
	$N_{210}P_{42}W_{217.5}$	654.50±20.95bc	793.50±3.46bc	250.50±23.43d
	$N_0P_{42}W_{217.5}$	594.50±78.59cd	678.00±79.18cd	236.00±22.75d
	$N_{105}P_{84}W_{217.5}$	764.00±18.70ab	894.50±66.36abc	302.00±58.89cd

注:1)各处理代码中 N 为施氮量(kg/hm²),P 为施磷量(kg/hm²),W 为生育期灌水量(mm);其下标角数字为具体量值;2)表中数值为平均值±标准差;3)同列同年份内不同小写字母表示差异达到 5%显著水平,表 2 同。

2.4.2 水肥耦合对冬小麦产量及其构成因素的调控效应 由表 2 可以看出,2010 年冬小麦产量表现为 $N_{105}P_{42}W_{308.5}$ 处理组合最高,穗粒数、穗数均是 $N_{179.2}P_{126}W_{282}$ 处理组合最大,千粒重以 $N_{30.8}P_{126}W_{282}$ 处理组合最大。

2011 年冬小麦产量、穗粒数为 $N_{105}P_{42}W_{308.5}$ 处理组合最高,穗数为 $N_{179.2}P_{126}W_{282}$ 处理组合最大,

而水肥处理组合 $N_{105}P_{42}W_{308.5}$ 穗数与最大值间无显著差异,千粒重是 $N_{30.8}P_{126}W_{282}$ 处理组合最大。冬小麦产量、穗粒数、穗数均表现为 $N_{105}P_{42}W_{127}$ 处理组合最小。

综合 2 a 分析结果,冬小麦产量在 $N_{105}P_{42}W_{308.5}$ 处理组合最大,千粒重在 $N_{30.8}P_{126}W_{282}$ 处理组合最大。

表 2 水、氮肥和磷肥互作对冬小麦产量及其构成因素的调控效应

年份	处理	产量/(kg/hm ²)	千粒重/g	穗粒数/粒	穗数/(万穗/hm ²)
2010	$N_{105}P_{168}W_{217.5}$	5 193.5bc	49.9cdef	22.4b	336.5b
	$N_{105}P_0W_{217.5}$	5 042.0bc	52.4bcd	20.4bc	306.5bc
	$N_{30.8}P_{126}W_{153.5}$	2 206.5e	51.7cde	16.2fg	243.5ef
	$N_{30.8}P_{126}W_{282}$	5 659.5ab	57.8a	19.8bcd	296.5bcd
	$N_{179.2}P_{126}W_{153.5}$	2 455.5e	48.0def	16.9efg	253.0def
	$N_{179.2}P_{126}W_{282}$	5 900.0ab	46.4f	29.2a	438.5a
	$N_{105}P_{42}W_{308.5}$	6 804.5a	51.1cdef	26.7a	401.0a
	$N_{105}P_{42}W_{127}$	1 766.5e	46.8ef	15.1g	226.0f
	$N_{210}P_{42}W_{217.5}$	4 776.5bcd	51.1cdef	21.6bc	324.0bc
	$N_0P_{42}W_{217.5}$	3 630.0d	56.6ab	19.4bcd	291.5cd
	$N_{105}P_{84}W_{217.5}$	4 107.0cd	53.1bc	18.6cde	279.5cde

续表 2 水、氮肥和磷肥互作对冬小麦产量及其构成因素的调控效应

年份	处理	产量/(kg/hm ²)	千粒重/g	穗粒数/粒	穗数/(万穗/hm ²)
2011	N ₁₀₅ P ₁₆₈ W _{217.5}	2 421.5c	36.3de	22.0cde	254.0d
	N ₁₀₅ P ₀ W _{217.5}	2 851.0bc	38.5cd	26.9abc	269.5cd
	N _{30.8} P ₁₂₆ W _{153.5}	990.5d	37.4cde	17.1de	81.0e
	N _{30.8} P ₁₂₆ W ₂₈₂	4 475.0a	45.6a	29.2abc	338.5bc
	N _{179.2} P ₁₂₆ W _{153.5}	1 101.5d	37.8cde	17.7de	80.0e
	N _{179.2} P ₁₂₆ W ₂₈₂	4 594.5a	35.1e	29.2abc	418.0a
	N ₁₀₅ P ₄₂ W _{308.5}	4 999.5a	40.1bc	31.7a	405.0ab
	N ₁₀₅ P ₄₂ W ₁₂₇	633.5d	36.9de	16.8e	47.0e
	N ₂₁₀ P ₄₂ W _{217.5}	2 552.5c	38.2cd	24.1bcd	250.5d
	N ₀ P ₄₂ W _{217.5}	2 639.0c	42.1b	22.6cde	236.0d
	N ₁₀₅ P ₈₄ W _{217.5}	2 568.5c	38.1cd	24.8abc	302.0cd

2.5 籽粒产量与其产量构成因素相关性分析

从表 3 可以看出,2 a 籽粒产量与越冬期、拔节期、成熟期总茎数(成穗数)和穗粒数均呈显著正相关($P \leq 0.01$),与 2011 年的千粒重也呈正相关($P \leq$

0.05),说明基本苗 240 万株/hm² 条件下,可以通过加强水肥管理,增加越冬期、拔节期及成熟期小麦总茎数,并在一定区间使千粒重、穗粒数、穗数同步增加,以达到提高冬小麦籽粒产量的目的。

表 3 2 a 冬小麦籽粒产量与小麦总茎数及其产量构成因素相关分析

年份	越冬期总茎数	拔节期总茎数	成熟期成穗数	千粒重	穗粒数
2010	0.61**	0.78**	0.86**	0.18	0.86**
2011	0.46**	0.76**	0.95**	0.35*	0.88**

注: *、** 分别表示差异达 5%、1% 显著水平。

3 结论与讨论

周瑞^[6]研究结果表明,冬小麦的分蘖数在拔节期最大,水肥耦合的交互作用对分蘖有极显著影响。赵广才等^[7]认为,不同的肥料处理对不同生育时期的群体质量均有一定影响,增施氮磷肥对增加植株生物量有显著作用。赵雪飞^[8]研究认为,在保证底墒基础上全生育期灌 1、2 和 3 水的总茎数显著高于不灌水,而灌 1、2 和 3 水之间差异不显著,但以灌 1 水的最高,不同施氮量水平间的总茎数差异显著,且随施氮量增加而增大。宁东峰等^[9]研究结果表明,施用氮肥可以显著增加小麦穗数和穗粒数,但对千粒重无显著影响。王立秋等^[10]认为,不同水分处理对籽粒产量、千粒重、穗粒数均有显著或极显著的影响,不同肥料处理对籽粒产量、穗粒数、茎干质量均有显著或极显著影响,而对千粒重的影响则无显著差异。黄令峰等^[5]认为,在一定范围内灌水量增加可以提高旱地小麦单位面积穗数,但灌水过多对高产田单位面积穗数提高较小,同时可使穗粒数减少,千粒重降低。姚金保等^[11]认为,拔节期随施氮量增加,冬小麦产量及穗数、穗粒数均增加,但超过一定量后,施氮量继续增加穗粒数则明显下降,导致产量

增加不显著甚至降低。

本研究结果表明,2 a 间,灌水量对冬小麦越冬期、拔节期、成熟期总茎数的影响均达显著水平($P \leq 0.05$),表明旱地水分是影响冬小麦分蘖及成穗的主要因素。随灌水量增加,冬小麦越冬期、拔节期总茎数均呈先增后降趋势,在灌水量 282.0 mm 时最大,2 a 平均值分别为 715.6 万、965.9 万茎/hm²,成熟期成穗数呈上升趋势,在灌水量 308.5 mm 时最大,2 a 平均值为 403.0 万穗/hm²,这与黄令峰等^[5]的研究结果一致。随冬小麦生长发育进程,2 a 间冬小麦总茎数均在拔节期达最大值。由水、氮肥和磷肥互作对小麦总茎数的影响看出,2 a 间越冬期、拔节期、成熟期均以 N_{179.2}P₁₂₆W₂₈₂ 处理组合对小麦总茎数发育影响较大。

灌水量对冬小麦产量及穗粒数的影响均达显著水平($P \leq 0.05$),表明旱地水分是冬小麦穗粒数和籽粒产量提高的主要限制因素。随灌水量增加,2 a 间冬小麦穗粒数及产量均呈增加趋势,在灌水量 308.5 mm 达最大,千粒重随灌水量增加则呈先增后降趋势,在灌水量 282.0 mm 最大,2 a 平均值为 46.3 g。随施氮量在 0~105.0 kg/hm² 间增加,产量呈增加趋势,施氮量在 30.8~210.0 kg/hm²,千

粒重均呈先降后增趋势,而穗粒数呈先增后降再增趋势。冬小麦产量为 $N_{105}P_{42}W_{308.5}$ 处理组合最大,千粒重以 $N_{30.8}P_{126}W_{282}$ 处理组合最大。

2 年度籽粒产量与越冬期、拔节期、成熟期(穗数)小麦总茎数和穗粒数均呈显著正相关,与 2011 年千粒重也呈显著正相关,说明基本苗 240 万株/hm² 条件下,可以通过加强水肥管理,增加越冬期、拔节期及成熟期小麦总茎数,并在一定区间使千粒重、穗粒数、穗数同步增加,以达到提高冬小麦籽粒产量的目的。

参考文献:

- [1] 李友军,付国占,刘丰明,等. 拔节期重施氮肥对小麦群体质量和产量的影响[J]. 麦类作物学报,1997,17(5): 41-45.
- [2] 许昌惠,徐珍秀,余毓君,等. 小麦群体发育特性的研究[J]. 华中农业大学学报,1982,11(3):17-21.
- [3] 叶优良,王桂良,朱云集,等. 施氮对高产小麦群体动态、产量和土壤氮素变化的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(2):351-358.
- [4] 刘强,葛鑫,于松溪,等. 氮肥运筹对强筋小麦济南 17 群体结构和产量的影响[J]. 耕作与栽培,2003(5):8-10.
- [5] 黄令峰,林琪,刘义国,等. 限量补灌对旱地高产田小麦光合和产量的影响[J]. 中国农学通报,2008,24(2): 470-474.
- [6] 周瑞. 不同水肥耦合处理下冬小麦光合产物分配格局和动态研究[D]. 开封:河南大学,2009.
- [7] 赵广才,刘利华,张艳,等. 肥料运筹对超高产小麦群体质量、根系分布、产量和品质的效应[J]. 华北农学报,2002,17(4):82-87.
- [8] 赵雪飞. 水氮运筹对冬小麦群体物质生产特性和产量形成的影响[D]. 石家庄:河北农业大学,2009.
- [9] 宁东峰,李志杰,孙文彦,等. 限水灌溉下施氮量对冬小麦产量、氮素利用及氮平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(6):1312-1318.
- [10] 王立秋,曹敬山,靳占忠,等. 春小麦产量及其品质的水肥效应研究[J]. 干旱地区农业研究,1997,15(1): 61-66.
- [11] 姚金保,杨学明,马鸿翔,等. 拔节期追施氮肥对宁麦 16 产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报,2010,30(4):727-730.
- [12] 张喜英. 不同时期水分亏缺及不同调亏程度对冬小麦产量的影响[J]. 华北农学报,1999,14(2):79-83.
- [13] 山仑,徐萌. 节水农业及其生理生态基础[J]. 应用生态学报,1991,2(1):70-76.
- [14] Yang J C, Zhang J H, Wang Z Q, et al. Remobilization of carbon reserves in response to water deficit during grain filling of rice[J]. Field Crops Research,2001,71(5):47-55.
- [15] 吕丽华,李雁鸣,胡玉昆,等. 水分胁迫对不同抗旱性小麦品种光合特性及产量性状的影响[J]. 河北农业大学学报,2005,28(3):1-5.
- [16] 柴守玺. 小麦抗旱生态分类中的主要农艺性状[J]. 甘肃农业大学学报,2001,36(1):112-118.
- [17] 郭春强,廖平安,罗鹏,等. 小麦高产高效可持续生产模式及水肥调控研究[J]. 天津农业科学,2012,18(3):67-70.
- [18] and peroxides in wheat species [J]. Plant and Cell Physiology,1994,35(5):785-791.

(上接第 25 页)

- [5] 许海霞,李伟,程西永,等. 干旱胁迫对小麦农艺性状的影响[J]. 中国农学通报,2008,24(3):125-129.
- [6] 冀天会,张灿军,杨子光,等. 小麦品种抗旱性鉴定产量指标的比较研究[J]. 中国农学通报,2006,22(1):103-106.
- [7] 王育红,姚宇卿,吕军杰,等. 水分调控对强筋小麦产量和品质影响[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(6):25-28.
- [8] 张灿军. 小麦抗旱性鉴定方法与指标[M]//陈生斗. 中国小麦育种与产业化进展. 北京:中国农业出版社,2002:119-136.
- [9] 关军锋,马春红,李广敏,等. 干旱胁迫下小麦根冠生物量变化及其与抗旱性的关系[J]. 河北农业大学学报,2004,27(1):1-5.
- [10] 江龙. 作物抗旱性的研究方法[J]. 贵州农业科学,1999,27(5):70-72.
- [11] Zhang L X, Kirkham M B. Drought stress induced changes in activities of superoxide dismutase, catalane