

不同土壤水分条件下施磷对小麦 光合性能和产量影响比较

曾广伟, 兰进好, 刘义国, 李玲燕, 林 琪

(青岛农业大学农学与植物保护学院, 山东 青岛 266109)

摘 要: 本试验于 2007~2008 年在青岛农业大学莱阳实验站防雨旱池中进行, 目的是研究土壤水分胁迫和水分适宜条件下不同施磷量对小麦光合性能及产量的影响。结果表明, 水磷两因素对小麦的光合性能和产量都有重要影响。小麦的叶面积指数和叶绿素含量随土壤含水量占土壤田间持水量的比例和施磷量的增加而增加, 适宜的水分还可以延长灌浆高值持续期, 提高气孔导度和光合速率, 进而提高产量。在不同施磷处理下, 随着施磷量的增加, 气孔导度和光合速率都有所增加, 在施磷 75~150 kg/hm² 范围内, 穗数、千粒重以及产量随着施磷量的增加而增加, 高于 150 kg/hm² 时, 反而下降。本试验条件下, 虽然土壤田间持水量 75% 与施磷量 150 kg/hm² 的处理组合达到了最高产量, 但与土壤田间持水量 55%、施磷量 150 kg/hm² 的处理组合的产量差异不显著, 故后者是最佳水肥处理组合, 达到了节水省肥的栽培目的。

关键词: 水分; 磷肥; 小麦; 光合性能; 产量
中图分类号: S147.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)05-0041-06

北方半干旱、半湿润地区是我国的主要粮食产区, 该地区水资源严重不足, 是缺水最严重的地区之一^[1]。山东省地处我国东部沿海地区, 特殊的地理位置决定了水资源匮乏的基本省情, 成为我国严重缺水省份之一。根据最新调查评价结果, 全省水资源总量为 303.1 亿 m³, 人均、地均占有量分别为 334 m³ 和 3 945 m³/hm², 均不到全国水平的 1/6^[2], 水资源供需矛盾日趋加剧, 水资源短缺已成为制约山东省农业可持续发展的“瓶颈”。水分是限制小麦生长的主要因素之一, 土壤中水分不足不仅影响小麦对水分的吸收和利用^[3], 而且也影响土壤中养分的有效性和小麦对养分的吸收利用。

磷素营养与水分之间有着十分密切的关系, 一方面水分影响磷素营养在土壤中的运动和植物对磷素的吸收、利用和分配; 另一方面适宜的磷素营养水平能够在一定程度上提高植物对干旱的适应性, 达到“以肥调水”的目的。

已有研究表明: 旱地施用磷肥由于满足了小麦生产过程对营养元素的需求, 因而可以促进其生长发育, 提高光合速率和产量^[4,5]。灌水和施磷均能显著提高冬小麦产量, 灌水增加了单位面积穗数和提高了千粒重, 而施磷增加了穗数^[6]。浇灌浆水与施磷都能促进光合作用, 降低胞间二氧化碳浓度, 增

加气孔导度^[7]。刘明, 逢焕成研究表明: 适宜的水分与磷素配合满足了春小麦物质生产过程中对水分和营养元素的需求, 达到以水促磷和以磷促水的目的; 而缺水高磷组合或高水低磷组合均不利于春小麦生长发育, 其产量与水分生产效率也较低^[8]。

上述研究多在大田条件下进行, 对于阶段灌水和施肥研究较多, 而本试验在防雨旱棚条件下, 全程生育期控水, 就不同土壤水分条件和不同施磷量对小麦生长、光合及产量的影响进行了研究, 以期在生产上的合理土壤水分控制及施磷量提供理论依据, 为节水、高产、优质的小麦生产实践提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

本试验于 2007~2008 年在青岛农业大学莱阳实验站防雨旱池中进行, 池栽面积为 2 m×2 m, 深 1.5 m, 砖砌水泥池, 下不封底; 小麦全生育期防止自然降水。土壤质地潮棕壤土, 0~25 cm 土层内, 土壤容重 1.31 g/cm³, 土壤田间最大持水量 25.1%。有机质含量 15.2 g/kg, 全氮含量 870 mg/kg, 速效氮含量 40.9 mg/kg, 速效磷含量 18.3 mg/kg, 速效钾含量 66.2 mg/kg。畦内种 8 行小麦, 平均行距为 25 cm。供试材料为青麦 6 号, 基本苗 180 万/hm²。

本试验设置 2 个土壤水分含量和 3 个施磷量,共 6 个处理,重复 3 次,随机区组排列。2 个水分水平分别为:W1,控制土壤含水量为田间最大持水量的 55%左右;W2,控制土壤含水量为田间最大持水量的 75%左右,土壤水分用时域水分测定仪测定,据 0~100 cm 测定结果控制灌水量,出苗后每 5 d 补水一次,生育后期,视情况 2 d 补水一次。磷肥施过磷酸钙(以 P_2O_5 计),三个施磷水平分别为:每公顷施低磷(P1):75 kg,中磷(P2):150 kg,高磷(P3):225 kg。

试验除施磷量 and 水分控制不同外,其他管理措施均按高产麦田要求进行,每公顷施氮肥尿素(以纯氮计)225 kg/hm²,钾肥施硫酸钾(以 K_2O 计):105 kg/hm²,全部基施。

1.2 测定方法

1.2.1 旗叶绿素含量的测定 采用日产 SPAD—502 型叶绿素计测定。

1.2.2 光合指标的测定 采用美国 LI—COR 公司生产的 LI—6400 便携式光合测定仪,从开花期起每隔 7 天于上午 9:00~11:30 从各处理中选受光方向和生长状况一致的旗叶进行测定。

1.2.3 叶面积指数的测定 采用美国 Decagon 生产的植物冠层测定仪 AccuPAR,于上午 10:00~11:00 进行测定。

1.2.4 灌浆速率的计算 选取开花期一致、长相基本相同、无病虫害的主茎穗标记。花后每 7 天取样一次,各处理每次取样 10 穗,每穗取中部小穗的籽粒 10 粒,105℃ 杀青 15 min,80℃ 烘干至恒重,称重并折合成千粒重。

灌浆速率(g/d)=(后一次测千粒重—前一次测千粒重)/间隔日

1.2.5 数据处理 数据、图表处理在 Excel 2003 下进行,统计分析和差异显著性检验在 DPSV7.05 版数据处理系统下进行。

2 结果与分析

2.1 不同土壤水分条件和不同施磷量对小麦植株叶面积指数的影响

由图 1 可以看出,不同处理的叶面积指数的动态变化趋势基本一致。即开花时达到最大,随着叶片的衰老而下降,但不同处理之间存在差异。W2 的叶面积指数明显高于 W1 的,且后期下降缓慢。相同水分状况下,小麦叶面积指数随着磷肥用量的增加而增加,磷肥由于促进小麦初期的生长发育,增加分蘖,因此对叶面积的扩展有明显促进作用。水

磷互作各处理间,叶面积指数随水分条件的改善而增加。W2P3 和 W2P2 两个处理的叶面积指数总体高于其它处理,这容易造成冠层郁闭,通风透光性差,下部叶片衰老过快,影响了产量的进一步提高。W1P2 的叶面积指数后期高于 W1P1 和 W1P3 的,且下降缓慢。

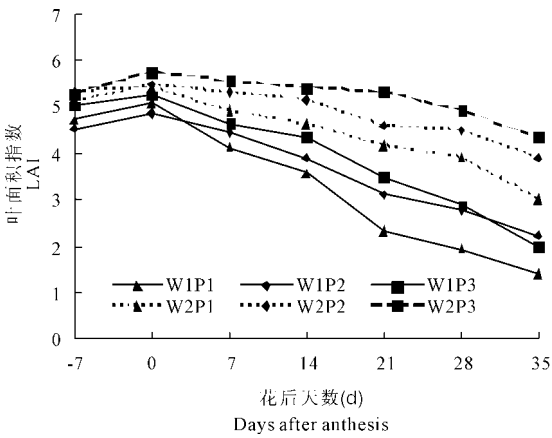


图 1 不同水分条件和不同施磷量对小麦叶面积指数的影响
Fig. 1 Effects of different soil water conditions and different phosphorus supplied on changes in leaf area index (LAI) after anthesis

2.2 不同土壤水分条件和不同施磷量对小麦旗叶绿素含量的影响

由图 2 可以看出,各处理旗叶绿素含量自开花后即转入下降趋势,花后 14 d 内叶绿素保持较高水平,之后开始明显下降。W2 水平下,小麦旗叶绿素含量随磷肥用量的增加而增加,W1 水平下,W1P2 的叶绿素含量总体高与其他两个处理。两种水分水平处理间比较,W2 的旗叶绿素含量明显高于相同施磷的 W1 的,且花后 14 d 内都维持在一个相对较高水平。水磷互作各处理间,叶绿素含量随水分条件的改善而增加,表现出大致 W2P3>W2P2>W2P1>W1P2>W1P3>W1P1 的规律,后期 W2P3 和 W2P2 处理的叶绿素下降缓慢,W1P2 相对于 W1P3 和 W1P1 仍然可以保持较高的叶绿素值,W1P3 和 W1P1 两处理间差别不明显。

2.3 不同土壤水分条件和不同施磷量对小麦旗叶光合速率的影响

由图 3 可以看出,各个处理的旗叶光合速率在开花期达到最大,花后 7 d 差别不大,花后 21 d 下降明显。W1 水平下,P2 处理的光合速率总体高于其他两个处理的。P3 处理后后期下降反而迅速。W2 水平下,光合速率随施磷量的增加而增大,P3 处理的光合速率后期下降缓慢,表现一定的贪青晚熟。不同水分条件的各处理间,随水分条件的改善,光合速

率也随之升高,说明适宜的水分是小麦保持高光合的一个重要物质条件。水磷互作各处理间比较,W2P3、W2P2 和 W2P1 三个处理在花后较长一段时间内维持较高的光合速率,高于其他处理的,后期下降缓慢,且随磷肥用量的增加,下降的幅度减慢,W1P2 处理的光合速率总体上高于 W1P3 和 W1P1 处理的,适宜的水磷配比活化光合细胞活性,增加叶绿素含量,故有利于维持较高光合速率。

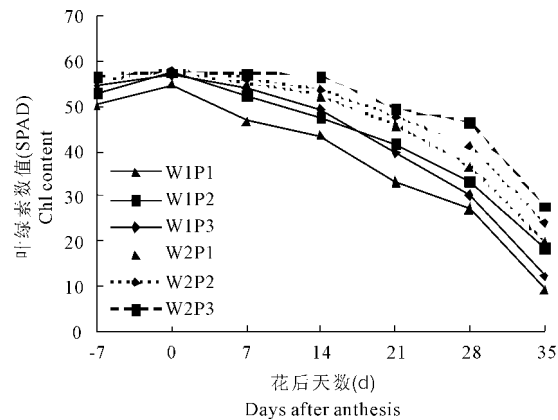


图 2 不同水分条件和不同施磷量对小麦旗叶叶绿素含量的影响

Fig.2 Effects of different soil water conditions and different phosphorus supplied on changes in Chl content of flag leaf after anthesis

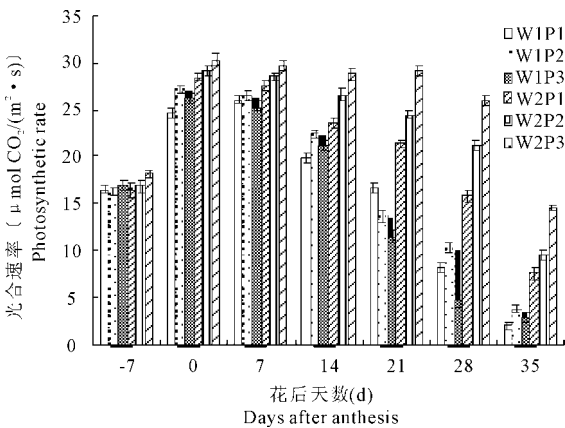


图 3 不同水分条件和不同施磷量对小麦旗叶光合速率的影响

Fig.3 Effects of different soil water conditions and different phosphorus supplied on changes in photosynthetic in flag leaf after anthesis

2.4 不同土壤水分条件和不同施磷量对小麦旗叶气孔导度的影响

气孔导度是影响光合速率的重要因素之一,它反映了叶片气体的交换能力。由图 4 可以看出旗叶的气孔导度的变化趋势与光合速率大致保持一致,

说明气孔导度与光合速率有着密切的关系,气孔导度是引起光合作用变化的一个重要因素。开花时各处理的气孔导度达到最大值,花后下降。W1 水平下,花后 7 天后,W1P2 的气孔导度较 W1P3 和 W1P1 高。W2 水平下,随着施磷量的增加,气孔导度也随之增加,P3 处理的气孔导度大于其他处理,灌浆末期三个处理相差不大。两种水分条件下,W2 各处理的气孔导度在花后大于相同施磷的 W1 的各处理。水磷互作各处理间,后期 W1 的气孔导度下降较相同施磷的 W2 迅速,可见适宜的水分可以减缓叶片的衰老,进而延缓气孔导度的降低。W1 水平下,P2 处理的气孔导度明显高于其他两个处理,说明在此水分条件下,适宜施磷提高了光合细胞活性,增加了气孔导度。W2 水平下,气孔导度随着施磷和土壤水分的增加而增加,说明此水分条件下增施磷肥和改善水分条件均可促进气孔开度。

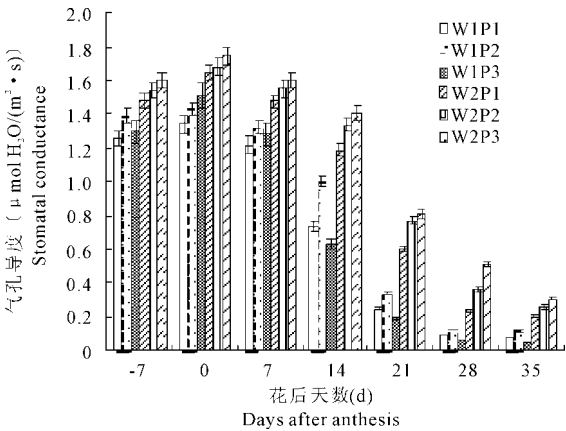


图 4 不同水分条件和不同施磷量对小麦旗叶气孔导度的影响

Fig.4 Effects of different soil water conditions and different phosphorus supplied on changes in stomatal conductance in flag leaf after anthesis

2.5 不同土壤水分条件和不同施磷量对小麦旗叶胞间 CO₂ 浓度的影响

由图 5 可以看出,旗叶胞间 CO₂ 浓度与光合速率及气孔导度在花后 0~14 d 成大致相同的变化趋势,花后 14 d,各处理均有一个低谷,之后随着生育期的推进缓慢上升直至成熟。花后 14 d 内,旗叶胞间 CO₂ 浓度与光合速率及气孔导度成大体一致的变化趋势,这说明气孔导度在对光合作用的限制中起主导作用,14 d 后旗叶胞间 CO₂ 浓度与光合速率及气孔导度变化趋势相反,这可能与小麦生育后期叶片的衰老促使叶肉细胞光合活性降低有关。水磷互作各处理间,花后 14 d 内,各处理间旗叶胞间 CO₂ 浓度大小大致是:W2P3>W2P2>W2P1>W1P2>

W1P3>W1P1, 说明施磷和适宜的水分促进气孔开度,减小气体交换的阻力,提高了光合速率,从而使胞间 CO₂ 浓度降低,14 d 后,各处理间旗叶胞间 CO₂ 浓度总体呈上升的趋势,但是变化不规律,具体原因,尚需进一步研究。

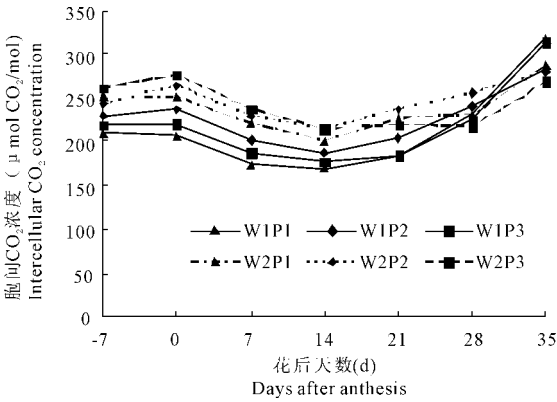


图 5 不同水分条件和不同施磷量对小麦旗叶胞间 CO₂ 浓度的影响

Fig.5 Effects of different soil water conditions and different phosphorus supplied on changes in intercellular CO₂ concentration in flag leaf after anthesis

2.6 不同土壤水分条件和不同施磷量对小麦籽粒灌浆速率的影响

小麦灌浆速率的高低主要受水分丰缺和养分状况的影响。分析图 6 可知,灌浆速率在小麦的生育进程中呈现慢—快—慢的变化趋势,即先缓慢升高,后快速增加,最后趋于平缓。W1 水平下,花后 0~14 d 内,灌浆速率随施磷量的增加而增加,14 d 后,W1P2 的超过其他两个处理,且后期下降相对缓慢。W2 水平下,花后 0~14 d 内,灌浆速率随施磷增加反而降低,14 d 后,W2P2 处理的超过其他两个处理,但三个处理间差别不明显。不同水分条件的各处理间灌浆速率比较,花后 0~21 d 内,W1 各处理的灌浆速率高于相同施磷的 W2 的,之后,W2 的高于 W1 的,且维持一个较高的灌浆速率,下降缓慢。水磷互作各处理间,W1 各处理的灌浆速率在花后 21 d 左右达到最大值,其最大值大小:W1P2>W1P3>W1P1,之后缓慢下降,最后趋于平稳。W2 处理在花后 28 d 左右达到最大值,其最大值大小:W2P2>W2P3>W2P1,之后缓慢下降,尤以 W2P2 下降的最慢。W1 处理的灌浆速率达到最大值的时间早于 W2 处理,说明水分胁迫导致小麦的灌浆起步时间提前,适宜的水分可以延长灌浆高值持续期,从而提高小麦产量。

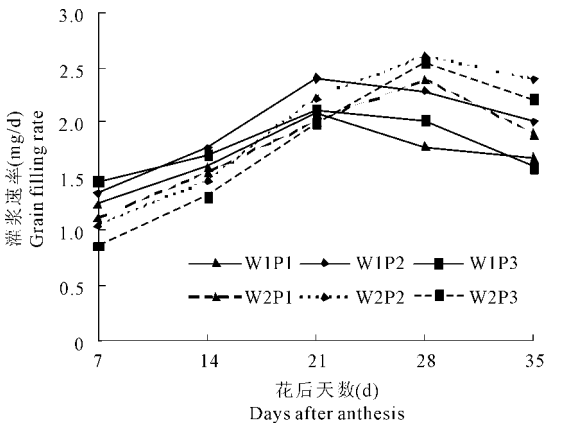


图 6 不同水分条件和不同施磷量对小麦籽粒灌浆速率的影响
Fig.6 Effects of different soil water conditions and different phosphorus supplied on changes in grain filling rate after anthesis

2.7 不同土壤水分条件和不同施磷量对小麦产量及其构成的影响

分析表 1 可知,各处理产量高低 W2P2>W2P3>W1P2>W2P1>W1P3>W1P1,以 W2P2 最高,比 W2P3 高 24.72 kg/hm²,比 W1P2 高 60.66 kg/hm²,但是三者之间差异并不显著。W2P3、W2P2 和 W1P2 既能保证足够的穗数又能保证较高的千粒重和穗粒数,因此产量较高。不同水分条件的各处理间比较,W2 在产量及其各构成因素方面均高于 W1,穗数方面 W2 与相同施磷的 W1 差异显著,产量和千粒重方面 W2P3 和 W1P3,W2P1 和 W1P1 差异显著。不同施磷 W2 水平下,W2P2 和 W2P3 在千粒重、穗数和产量方面差异不显著,但与 W2P1 差异显著,W1 水平下各处理间千粒重、穗数和产量以 W1P2 突出,显著高于 W1P3 和 W1P1,W1P3 在穗数、千粒重和产量方面显著高于 W1P1。

表 1 不同土壤水分条件和不同施磷量对小麦产量及其构成因素的影响

Table 1 Effects of different soil water conditions and different phosphorus application on yield and yield components in wheat				
处理 Treatment	千粒重 1000-grain weight (g)	穗粒数 Grains number per spike	穗数 Spike number (10 ⁴ /hm ²)	产量 Yield (kg/hm ²)
W1P1	36.04 _c	33.18 _a	691.5 _d	7483.51 _d
W1P2	42.34 _a	32.59 _b	774.6 _b	8535.35 _a
W1P3	38.78 _b	33.21 _a	738.1 _c	7738.29 _c
W2P1	41.24 _b	33.12 _a	730.5 _c	8392.41 _b
W2P2	43.28 _a	31.39 _c	793.5 _a	8596.01 _a
W2P3	42.52 _a	32.73 _{ab}	801.2 _a	8571.29 _a

注:a,b,c,d 表示 5% 水平显著差异。
Note: The a, b, c and d mean significant difference at 5%.

通过对小麦产量构成因素的相关系数分析(表

2)可知,在本试验条件下小麦产量与穗数、千粒重成显著正相关,与千粒重的相关系数为 0.98,成极显著正相关,与穗粒数成显著负相关,表明增加穗数和粒重是提高小麦产量水平的关键。

表 2 产量和产量构成的相关性分析

Table 2 Correlation coefficient between yield and yield components of wheat

处理 Treatment	千粒重 1000-grain weight	穗粒数 Grain number per spike	穗数 Spike number	产量 Yield
千粒重 1000-grain weight	1.00			
穗粒数 Grain number per spike	-0.66	1.00		
穗数 Spike number	0.91**	-0.68	1.00	
产量 Yield	0.98**	-0.62	0.86*	1.00

注: * $P<0.05$, ** $P<0.01$ 。

Note:The * means singnificant difference at 5% leavel, and ** means singnificant difference at 1% leavel.

3 讨 论

已有研究结果一般认为,氮素对植物光合作用的影响是直接的,而磷素则是通过改善植物体内水分关系,促进根系的吸收等作用间接地影响植物的光合作用^[9]。Kramer 认为营养缺乏会使作物产生类似于水分胁迫的生理生化 and 形态解剖性状^[10],张国盛、张仁陡等研究表明施磷可以提高和增大根系活跃吸收面积和根系活力,明显增强小麦对干旱缺水环境的适应能力^[11]。如前所述,本试验中 W1P2 高于 W1P3 和 W1P1,说明适宜的磷肥与水分配合施用能明显改善小麦光合状况,缓解水分胁迫造成的影响。W1P3 的光合速率后期下降较其他处理迅速,可能跟水肥不协调,高磷造成土壤水势下降,进一步加剧了小麦的水分胁迫有关。

有研究指出小麦开花后旗叶光合速率下降分为两个阶段,在第一阶段主要是气孔限制造成,第二阶段主要是非气孔限制的原因^[12]。本试验结果与前人研究一致,只是在两因素转换时间上有些差异,小麦花后 0~14 d,各处理旗叶胞间 CO₂ 浓度与光合速率及气孔导度变化趋势大体一致,表明细胞内外气体交换能力受到气孔制约,导致旗叶光合速率的相应的变化,14 d 后旗叶胞间 CO₂ 浓度上升直至成熟,与光合速率及气孔导度变化趋势相反,主要是小麦生育后期叶片开始衰老,叶绿素分解及叶肉光合活

性降低等非气孔因素造成胞间 CO₂ 淤积,使胞间 CO₂ 浓度升高。

小麦的灌浆速率大和灌浆持续时间长对增加粒重有明显作用^[13],产量构成 3 因素是一个矛盾体,只有协调发展时才能获得高产^[14]。本试验条件下,通过对小麦产量构成因素的相关系性分析可知,小麦产量与穗数成显著正相关,与千粒重成极显著正相关。本试验,W2P3、W2P2 和 W1P2 既能保证足够的穗数又能保证较高的千粒重和穗粒数,因此产量较高,W2P3 由于施磷较多,促进了前期的旺盛生长,叶面积持续较高,这容易造成群体冠层郁闭,阻碍通风透光,促使植株下部叶片早衰,致使后期灌浆不充实,降低了粒重,限制了产量的进一步提高,这也是最终 W2P3 产量不如 W2P2 的原因之一。W1P2 在千粒重及产量方面均高于 W1P2 及 W1P3,说明适宜的施磷量对水分胁迫有一定的补偿作用,增加了有效穗数,充分发挥了粒重的潜力,故而提高了产量。

小麦是对磷反应敏感的作物,岳寿松和李建民^[15]等在缺磷的土壤上研究认为,施用磷肥使小麦显著增产,且土壤速效磷含量越低,施磷增产效果越显著,同时产量亦随施磷量的增加而增加。我国各地小麦麦田土壤速效磷含量差异幅度较大,而且不同小麦品种的耐磷性和磷素利用效率也不同,因此,在不同土壤速效磷含量的条件下,不同品种的小麦高产优质的适宜的灌水量和施磷量及其生理机制还需进一步研究。

4 结 论

1) 小麦叶面积指数和叶绿素含量均随水分和施磷条件的改善而增加,水分适宜条件下,叶面积指数和叶绿素含量随施磷量的增加而增加。水分胁迫条件下,W1P2 表现突出,达到延缓衰老、提高产量的作用。

2) 小麦光合性能均随水分和施磷条件的改善而提高,但并非完全正相关,水分适宜条件下,光合性能随施磷量的增加而提高,水分胁迫条件下,W1P2 光合性能优于其他两个处理,且后期下降缓慢。

3) 本试验条件下,在施磷 75~150 kg/hm² 的范围内,产量随着施磷量的增加而增加,高于 150 kg/hm² 时,产量反而下降,W2P2 处理的产量虽然比 W2P3 和 W1P2 高,但差异不显著,故土壤水分含水量占田间持水量的 55%和施磷量 150 kg/hm² 的处理组合是本试验的最佳水肥处理组合,达到了节水

省肥的栽培目的。

参考文献:

- [1] 张淑香, 金 柯, 蔡典雄, 等. 水分胁迫条件下不同氮磷组合对小麦产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 276—279.
- [2] 孙义福, 刘长军, 张 军. 科学配置山东水资源问题的探讨[J]. 水资源管理, 2008, 19: 40—42.
- [3] 张岁岐, 山 仑, 薛青武. 氮磷营养对小麦水分关系的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(2): 147—151.
- [4] 张岁岐, 山 仑. 磷素营养和水分胁迫对春小麦产量及水分利用效率的影响[J]. 西北农业学报, 1997, 6(1): 22—25.
- [5] 梁银丽, 康绍忠. 限量灌水和磷营养对冬小麦产量及水分利用的影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, (1): 61—67.
- [6] 李建民, 兰 霞, 王 璞, 等. 冬小麦限水灌溉条件下磷肥补偿效应的研究[J]. 华北农学报, 1999, 14(4): 78—83.
- [7] 王同朝, 卫 丽, 吴克宁, 等. 地下水浅埋区水磷耦合对冬小麦的影响[J]. 节水灌溉, 2004, (1): 9—13.
- [8] 刘 明, 逢焕成. 水磷互作对黑垆土春小麦生长及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2007, (4): 73—74.
- [9] 梁银丽, 陈培元. 土壤水分和磷营养对小麦根系生长生理特性的影响[A]. 汪德水. 旱地农业肥水关系原理与调控技术[C]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995: 101—105.
- [10] Kramer P J. Plant and water relationships: A modern synthesis[M]. New York: Mc Graw-hill, 1969: 313—314.
- [11] 张国盛, 张仁陡. 水分胁迫下氮磷营养对小麦根系发育的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2001, 36(2): 163—167.
- [12] 李秧秧, 刘文兆. 灌水对小麦旗叶光合功能衰退的影响[J]. 西北植物学报, 2001, 21(1): 75—80.
- [13] 肖俊夫, 刘战东. 不同灌水处理对冬小麦籽粒灌浆过程的影响研究[J]. 节水灌溉, 2007, (1): 9—12.
- [14] 张维成, 李春喜, 杨永光. 论冬小麦产量构成因素的制约关系[A]. 中国小麦栽培研究新进展[C]. 北京: 农业出版社, 1993: 511—517.
- [15] 岳寿松, 于振文. 磷对冬小麦后期生长及产量的影响[J]. 山东农业科学, 1994, (1): 13—15.

Comparison of effects of different soil water conditions and phosphorus application on photosynthesis and yield of wheat

ZENG Guang-wei, LAN Jin-hao, LIU Yi-guo, LI Ling-yan, LIN Qi

(College of Agronomy and Plant Protection, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China)

Abstract: The research was carried out at Laiyang experiment station of Qingdao Agricultural University from 2007 to 2008 under rain-sheltered proof culture conditions. Effects of water stress, proper water and different phosphorus application on photosynthesis and yield of wheat was studied. The results showed that the two factors of water and phosphorus had an important impact on photosynthesis function and yield of wheat. Leaf area index and chlorophyll increased with the increase of the proportion of soil water content in field water capacity and phosphorus quantity. Proper soil water content could extend the high value duration of grain filling and improve stomatal conductance, photosynthetic rate and yield. Stomatal conductance and photosynthetic rate increased with the increase of phosphorus quantity under treatments of different application of phosphorus. Spike number, 1000-grain weight and yield increased with the increase of phosphorus within the limit of phosphorus application between 75 and 150 kg/hm², but declined when it was higher than 150 kg/hm². Though the treatment of 75% field water capacity and 150 kg/hm² phosphorus application achieved the highest yield, it had no significant difference with the treatment of 55% field water capacity and 150 kg/hm² phosphorus application. Therefore, the latter treatment was the best combination of water and fertilizer, which achieved the cultivation purpose of saving water and fertilizer.

Keywords: water; phosphorus; wheat; photosynthesis function; yield