

不同施肥措施对冬小麦田间群体微环境的影响

聂胜委¹, 张巧萍^{1,2}, 张玉亭^{1*}, 韩伟锋¹, 黄绍敏¹, 宝德俊¹

(1.河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 河南 郑州 450002; 2.河南农业大学农学院/河南省粮食作物协同创新中心, 河南 郑州 450002)

摘要:以长期不施肥(CK)为对照,研究单施氮肥(N)、氮钾配施(NK)、氮磷配施(NP)、氮磷钾配施(NPK)对冬小麦田间群体小气候的影响。结果表明,长期不施肥、单施氮肥、氮钾肥配施(CK、N、NK)措施在小麦拔节期、灌浆期容易导致较高的群体冠层温度和群体内地面温度,群体叶片 SPAD 值较低,不利于小麦的生长,造成减产;而氮磷肥配施、氮磷钾肥配施(NP、NPK)措施则相反,更有利于小麦的生长,获得较高的产量,冠层温度调控幅度在 0.5~8 °C,地面温度调控幅度 0.5~16 °C,群体叶片 SPAD 值改善幅度 3~17 个单位。此外,不同施肥措施对小麦群体内相对湿度、CO₂ 浓度的影响没有表现出一定的规律性。

关键词:施肥;冬小麦;群体;微环境

中图分类号: S181 文献标志码: A 文章编号: 2095-6819(2016)06-0576-07 doi: 10.13254/j.jare.2016.0126

引用格式:

聂胜委, 张巧萍, 张玉亭, 等. 不同施肥措施对冬小麦田间群体微环境的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(6):576-582.

NIE Sheng-wei, ZHANG Qiao-ping, ZHANG Yu-ting, et al. Effects of Various Long-term Fertilizations on Micro-climate of Winter Wheat Group[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2016, 33(6): 576-582.

Effects of Various Long-term Fertilizations on Micro-climate of Winter Wheat Group

NIE Sheng-wei¹, ZHANG Qiao-ping^{1,2}, ZHANG Yu-ting^{1*}, HAN Wei-feng¹, HUANG Shao-min¹, BAO De-jun¹

(1. Institute of Plant Nutrient and Environmental Resources, Henan Academy of Agricultural Science, Zhengzhou 450002, China; 2. College of Agronomy/ Collaborative Innovation Center of Henan Grain Crops, Henan Agriculture University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In this manuscript, micro-climate of winter wheat's group under CK (No fertilizer), N (Inorganic N fertilizer), NK (Inorganic N and K fertilizer), NP (Inorganic N and P fertilizer), and NPK (Inorganic N, P and K fertilizer) fertilizations was studied. The results showed that CK, N and NK fertilization treatments would lead to higher wheat's canopy temperature and surface ground temperature and lower leaves SPAD value at the elongation stage and filling stage, which were not favor for wheat's growth and obtained lower grain yield; while NP and NPK treatment were on the contrary, they were benefited for wheat's growth and gained better grain yield. Compared with CK, N, and NK treatment, there were about 0.5~8 °C on the canopy and 0.5~16 °C on the soil surface could be changed by NP and NPK treatment, respectively; and about 3~17 SPAD unit could be improved. Additionally, fertilization practices had no significant effects on wheat's group relative humidity and CO₂ concentrations.

Keywords: fertilization; winter wheat; group; micro-climate

施肥措施对小麦生长、发育以及养分吸收等方面影响较大^[1-2], 主要在小麦生理生化^[3]、养分吸收^[4-6]及产量^[7]等研究领域。研究发现, 与不施肥比较, NPK 配

施能明显提高小麦籽粒蛋白质、氨基酸含量, 改善品质^[8]; NPK 配施能明显提高籽粒湿面积和蛋白质含量, 有机无机肥配施可以提高籽粒蛋白质含量^[9-10], 但也有相异的研究结论^[11]。产量方面, NPK 配施或与有机肥配施, 均可提高小麦产量^[12-15], 且 NPK 配施增产效果显著^[16-18]。

农田小气候是指农田中作物层里形成的特殊气候, 对农作物的生长、发育和产量以及病虫害都有很大的影响。不同农作物、植株密度、株行距、行向、生育

收稿日期: 2016-05-11

基金项目: 河南省农业科学院优秀青年科技基金(2013YQ15); 国家自然科学基金(31301284); “十二五”科技支撑计划(2012BAD14B08)

作者简介: 聂胜委(1979—), 男, 河南汝州人, 博士, 副研究员, 主要从事长期定位施肥、农田受损生态系统修复及循环农业等方面的研究。E-mail: nsw2007@cau.edu.cn

* 通信作者: 张玉亭 E-mail: zhangyuting@hnagri.org.cn

期以及叶面积大小等都能形成特定的小气候^[19]。研究表明,在相同播种量下,冬小麦较小行距比较大行距、种子均匀分布比非均匀分布群体叶面积较大,冠层下部漏光较少、温度较低,相对湿度较高^[20]。种群分布较均匀的行株距处理较非均匀处理能够明显降低近地面空气温度和 0~5 cm 土壤温度,增加空气相对湿度;降低湍流热通量和土壤热通量,提高潜热通量,改变近地面的微气候^[21];在灌浆期,冷型小麦陕 229 比 9430 光照度偏小 0.3~6.8 klx,0~20 cm 土壤温度偏低 0.2~3.5 ℃(8:00—20:00 地面温度除外),株间气温偏低 0.2~1.9 ℃;株间水汽压和相对湿度分别偏高 20~170 Pa 和 1%~9%^[22]。改变其他措施也可以改善群体小气候,如秸秆覆盖和耕作措施等;秸秆覆盖在 14:00 时的土壤温度明显低于不覆盖处理,秸秆覆盖能够降低近地面空气湿度和提高近地面空气温度^[23];粉垄耕作对小麦灌浆期群体的冠层温度、群体内地表的温度以及群体内 CO₂ 浓度影响较大;拔节期,粉垄耕作的土壤耕层温度比 CK 低 1~2 ℃,孕穗期比 CK 高 0~0.5 ℃;同时,能够有效地改善小麦生育中后期田间微环境,提高抗逆能力,增加产量^[24]。此外,研究发现,小麦分蘖成穗受群体环境的影响要强于遗传因素,大穗型品种分蘖成穗特性对群体环境响应比中、多穗型敏感^[25]。这说明小麦群体微环境在小麦生长、发育等方面发挥着相当重要的作用,有关施肥对小麦群体小气候(微环境)的研究报道则较少。因此,研究不同施肥措施对小麦田间群体小气候影响,协调小麦生长与群体微环境关系,为进一步完善施肥措施,提高群体抗逆能力,获得小麦高产提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于郑州国家潮土土壤肥力与肥料效益长期监测站(113°40'E, 34°47'N),气候类型为暖温带季风气候,四季分明,年平均气温 14.4 ℃,>10 ℃积温约 5 169 ℃。7 月最热,平均 27.3 ℃;1 月最冷,平均 0.2 ℃;年平均降雨量 645 mm,无霜期 224 d,年平均蒸发量 1 450 mm,年日照时间约 2 400 h。土壤类型为潮土。试验地开始于 1990 年,试验开始时土壤样品的养分情况为:pH 8.3,土壤有机质(SOM) 10.1 g·kg⁻¹,土壤碱解氮(Alkali-hydrolysable N) 76.6 mg·kg⁻¹,有效磷(Olsen-P) 6.5 mg·kg⁻¹,有效钾(Exchangeable K) 74.5 mg·kg⁻¹,土壤全氮(Total N) 0.65 g·kg⁻¹,土壤全磷(Total P) 0.64 g·kg⁻¹,土壤全钾(Total K) 16.9 g·kg⁻¹。

通过多年的定位施肥,土壤养分情况逐渐趋于稳定^[6]。

1.2 试验设计

试验小区为完全随机排列,本研究设 5 个处理:(1)N(单施尿素);(2)NP(施氮磷肥,不施钾肥);(3)NK(施氮钾肥,不施磷肥);(4)NPK(氮磷钾配施);(5)CK(种植且不施肥)。小区面积为 5 m×9 m,每个处理重复 3 次。研究选用的氮肥为尿素 CO(NH₂)₂,磷肥为磷酸二氢钙 Ca(H₂PO₄)₂,钾肥为硫酸钾(K₂SO₄)。除不施肥 CK 处理外,各处理施氮量(或标准)相同,磷肥、钾肥作基肥一次施入,氮肥的基肥:追肥比为 6:4,各处理施肥量见表 1。小麦品种为郑麦 0856,播量为 300 kg·hm⁻²,分别在 2012、2013 年当年的 10 月中上旬播种,次年 6 月上旬收获。各处理的田间管理措施均一致。

表 1 各处理施肥措施下氮、磷、钾肥料的施用量

Table 1 Nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer applications of different treatments

处 理 treatments	无机肥 Inorganic fertilizer		
	N/kg N·hm ⁻²	P ₂ O ₅ /kg P ₂ O ₅ ·hm ⁻²	K ₂ O/kg K ₂ O·hm ⁻²
CK	0	0	0
N	165	0	0
NP	165	82.5	0
NK	165	0	82.5
NPK	165	82.5	82.5

1.3 分析方法

在小麦苗期(2012/12/10、2013/12/03)、拔节期(2013/04/02、2014/3/23)、灌浆期(2013/5/21、2014/05/16)、成熟期(2013/06/10、2014/06/09)调查田间群体动态;小麦拔节期、灌浆期,选晴朗天气,在测定当日的 11 点至 14 点光照条件良好的时间段测定群体内土壤耕层(0~20 cm)温度(℃)、湿度(%);田间群体的冠层温度(℃)、群体内地表温度(℃);群体内二氧化碳(CO₂)浓度、相对湿度(%),温度(℃)以及上部完全展开叶片(灌浆期为旗叶)SPAD 等指标,各指标每个点重复测定 6 次取平均值。成熟期各处理实收 4 m²测产。

土壤温度、湿度用 Aquameter 计(Made in USA)直接测定,冠层和群体内地表温度用红外线测温仪测定,群体内二氧化碳、湿度、温度用 CO₂ Meter 计(Made in USA)测定,叶片 SPAD 用 SPAD 计测定,群体动态在田间固定 1 m 双行进行测定。文中数据用

Excel、DPS 等软件进行整理分析,用LSD 法进行显著性分析, $P \leq 0.05$ 、 $P \leq 0.01$ 表示显著、极显著差异水平。

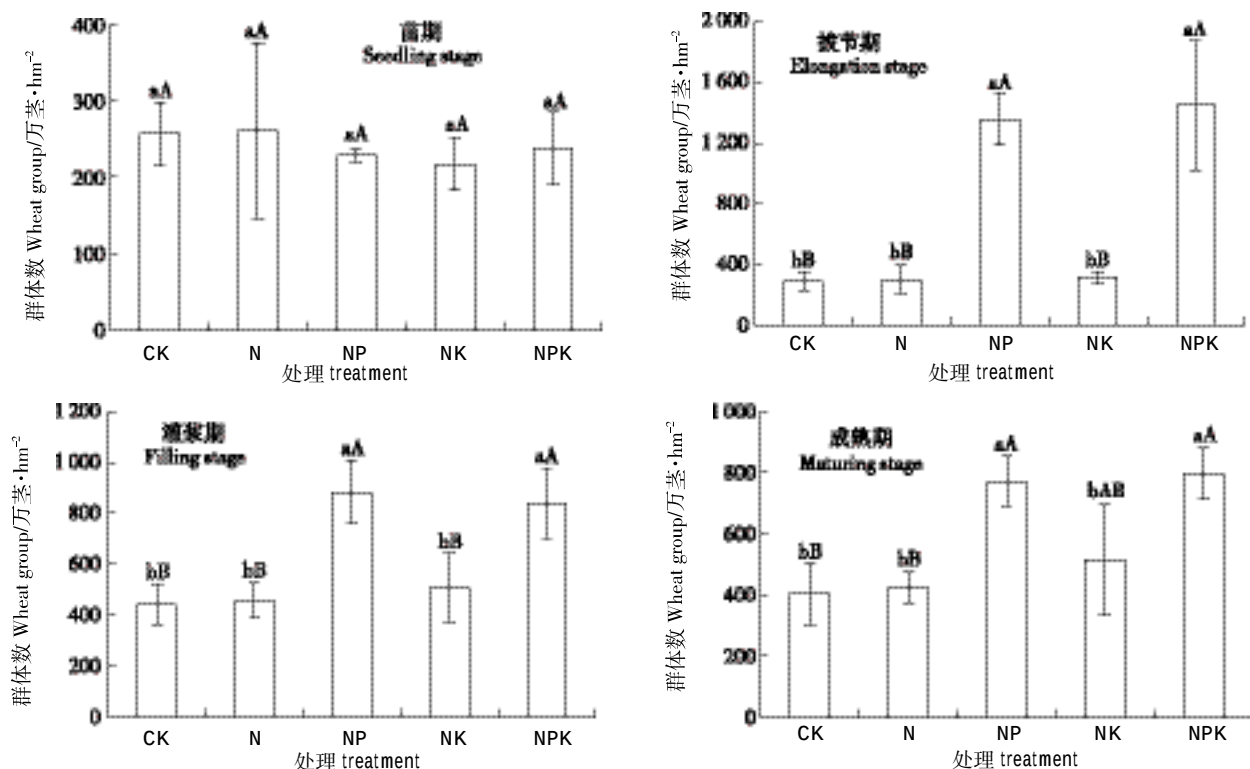
2 结果与分析

2.1 不同施肥措施下群体动态的变化

由图 1 可以看出,小麦苗期,各处理的田间群体数差别不大,NK、NP 处理略低,但是各处理间差异不显著。拔节期,CK、N、NK 处理的群体明显较小,均不

超过 320 万茎· hm^{-2} ,与 NP、NPK 处理相差超过 880 万茎· hm^{-2} ,达到极显著水平。灌浆期,N、NK 处理的群体穗数分别为 458.36 万茎· hm^{-2} 、507.68 万茎· hm^{-2} ,极显著低于 NP(883.35 万茎· hm^{-2})、NPK(838.39 万茎· hm^{-2})处理。成熟期与灌浆期类似,N、NK 处理的群体显著或极显著低于其他处理,NP、NPK 处理相对较高。

2.2 不同施肥措施下小麦上部完全展开叶片 SPAD 值变化



图中不同处理间小、大写字母分别表示 $P \leq 0.05$ 、 $P \leq 0.01$ 差异水平,下同

lower case and upper case letters of the different treatments mean significant difference at $P \leq 0.05$, $P \leq 0.01$ levels, respectively. The same below

图 1 小麦不同生育期时期田间群体动态的变化

Figure 1 Wheat's group numbers at different growing stages under different treatments

表 2 不同施肥措施下小麦上部完全展开叶片 SPAD 值的变化

Table 2 Effects of various fertilizations on SPAD values of the upper expanded wheat's leaves

处理 Treatments	2013 年		2014 年	
	拔节期Elongation stage	灌浆期Filing stage	拔节期Elongation stage	灌浆期Filing stage
CK	36.10±0.23cC	45.96±5.61aA	36.32±0.64cB	33.49±6.43bA
N	42.83±3.16bB	28.92±6.49aA	40.26±1.91bB	42.81±1.88abA
NP	53.82±1.15aA	33.47±14.26aA	51.38±1.87aA	44.03±0.98aA
NK	41.95±1.32bB	44.27±4.47aA	40.99±2.66bB	40.28±4.69abA
NPK	53.87±0.35aA	32.46±15.00aA	49.95±1.57aA	43.64±6.77aA

注:表中不同处理间小、大写字母分别表示 $P \leq 0.05$ 、 $P \leq 0.01$ 差异水平,下同。

Notes: lower case and upper case letters of the different treatments mean significant difference at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$ levels, respectively. The same below.

不同施肥措施下,由表 2 可以看出,小麦最上部完全展开叶的叶绿素含量存在差异。2013 年小麦拔节期,施肥处理叶片 SPAD 值均高于 CK(36.10),高出 4~17 个单位,其中 N、NK 处理在施肥处理中相对较低。灌浆期 N、NP、NK、NPK 处理旗叶的 SPAD 值低于 CK(45.96),分别为 28.92、33.47、44.27、32.46。2014 年小麦拔节期,施肥处理最上部完全展开叶 SPAD 值均显著或极显著高于 CK(36.32),高出 3~15 个单位。灌浆期,施肥处理的 SPAD 值则高于 CK(33.49),其中 NP(44.03)、NPK(43.64)处理显著高于 CK。

2.3 不同施肥措施下群体内环境的变化

由表 3 可以看出,2013 年小麦灌浆期,N 处理的群体冠层温度较高,为 30.41 ℃,而 CK、NPK 处理的温度显著低于 N 处理,降温幅度超过 2 ℃。2014 年小麦灌浆期,CK、N、NK 处理的群体冠层温度稍高,分别达到 28.73、27.29、27.76 ℃,均显著或极显著高于其他处理;其中 NP、NPK 处理的群体冠层温度下降幅度达 2~4 ℃。

地面温度的变化,2013 年小麦拔节期,CK、N、NK 处理的群体地面温度分别极显著高于 NP、NPK 处理,平均低 10~16 ℃。灌浆期群体地面温度与拔节期相近,CK、N、NK 处理的群体地面温度显著或极显著高于其他处理,分别为 34.47、33.13、31.89 ℃,NP、NPK 处理的群体地面温度较低,分别为 25.29、25.83 ℃。2014 年小麦拔节期,CK、NK 处理群体地面的温度稍高,而 N、NP、NPK 处理的群体地面温度稍低。小麦灌浆期,CK、N、NK 处理群体内地面温度较高,分别达到 31.67、31.03、29.61 ℃,NP、NPK 处理较低,分别为 24.56、23.84 ℃(表 3)。

群体内环境的 CO₂ 浓度与灌浆期群体数关系密切,由图 2 可以看出,2013 年和 2014 年小麦拔节期群体内 CO₂ 浓度不同处理间差异不显著。2013 年灌浆期群体内 CO₂ 浓度各处理差异不显著;但是 2014

年灌浆期差异显著,除 N(359.20 mg·L⁻¹)处理外,NK、NP、NPK 处理的群体内 CO₂ 浓度均比 CK(360.00 mg·L⁻¹)持平或略高,分别为 386.08、363.58、378.42 mg·L⁻¹,其中 NK 处理的 CO₂ 浓度显著或极显著高于 CK、N、NP 处理。由图 3 可见,不同处理之间小麦拔节期和灌浆期群体内相对湿度差异不显著,不同施肥措施对群体相对湿度无显著影响。

2.4 不同施肥措施下小麦籽粒产量的变化

2013 年,CK、N、NK 处理的产量较低(图 4),分别为 1 301.25、1 019.01、1 110.52 kg·hm⁻²; NP、NPK 处理均极显著高于 CK、N、NK,分别为 5 152.70、4 658.94 kg·hm⁻²。2014 年,NP、NPK 处理的籽粒产量较高,分别为 5 205.56、5 234.71 kg·hm⁻²,均极显著高于 CK(1 184.79 kg·hm⁻²)、N(1 306.33 kg·hm⁻²)、NK(1 511.87 kg·hm⁻²)处理。

3 讨论

农作物的不同植株密度、株行距、行向、生育期以及叶面积大小等都能形成特定的群体小气候^[19]。如小麦相同播量条件下,行距、种子分布的均匀程度等都会引起群体叶面积、冠层对光的吸收、温度以及湿度等变化^[20],进而影响土壤温度和土壤热通量,改变近地面的微气候^[21]。通过本研究发现,不同施肥措施下,CK、N、NK 处理群体冠层、地面温度高,而 NP、NPK 处理冠层、地面温度低。这是由于 NP、NPK 处理群体数也较高,叶片的 SPAD 值和群体穗数表明小麦灌浆期群体总光合作用、蒸腾作用自然也就较强,通过植株上部、下部叶片进行蒸腾散失的水分较多,相对吸热降温速度快以及冠层下部漏光较少等原因造成。这说明通过施肥措施的改变,也可以达到改善群体小气候的效果。

以往的研究发现,小麦撒播和窄行条播可有效地增加单位面积穗数,提高挑旗和灌浆中期群体中、上

表 3 不同施肥措施下小麦不同生育期田间冠层、地表温度的变化(℃)
Table 3 Effects of different fertilizations on wheat's group canopy temperature and surface ground temperature(℃)

处理 Treatments	冠层温度 Canopy temperature		地面温度 Surface ground temperature			
			2013 年		2014 年	
	灌浆期 Filling stage	灌浆期 Filling stage	拔节期 Elongation stage	灌浆期 Filling stage	拔节期 Elongation stage	灌浆期 Filling stage
CK	27.76±1.22bA	28.73±1.63aA	33.55±3.59bAB	34.47±0.97aA	19.34±0.62abAB	31.67±1.18aA
N	30.41±1.19aA	27.29±1.00aAB	32.53±2.72bB	33.13±0.54aA	18.78±0.71bAB	31.03±1.66aA
NP	28.76±1.37abA	24.04±0.21bB	21.37±1.07cC	25.29±1.71bB	16.52±1.61bB	24.56±2.06 bB
NK	28.30±0.80abA	27.76±0.74aA	37.56±2.41aA	31.89±0.38aA	22.51±3.37aA	29.61±0.91 aA
NPK	27.52±0.79bA	25.20±1.60bB	21.81±1.77cC	25.83±2.90bB	16.21±1.15bB	23.84±2.73 bB

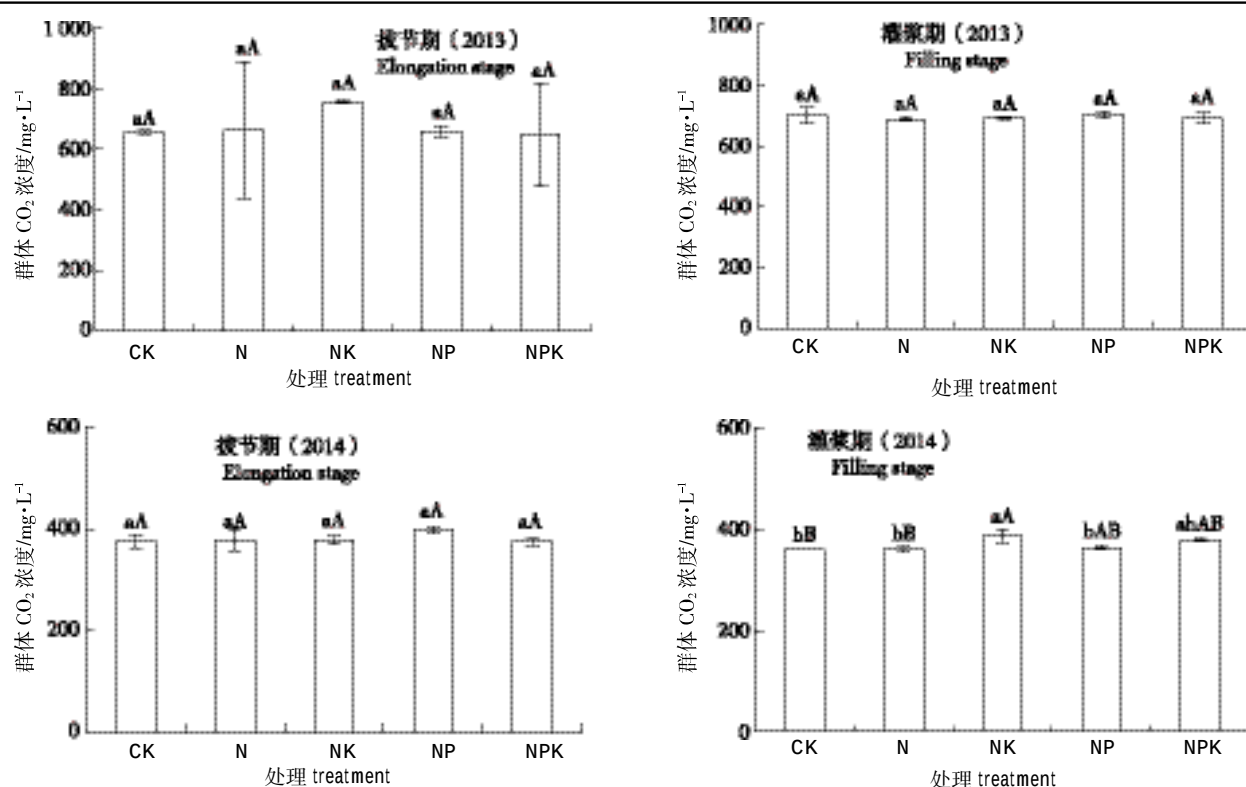


图 2 不同施肥措施下小麦群体内 CO₂ 浓度的变化

Figure 2 Effects of various fertilizations on wheat's group CO₂ concentration

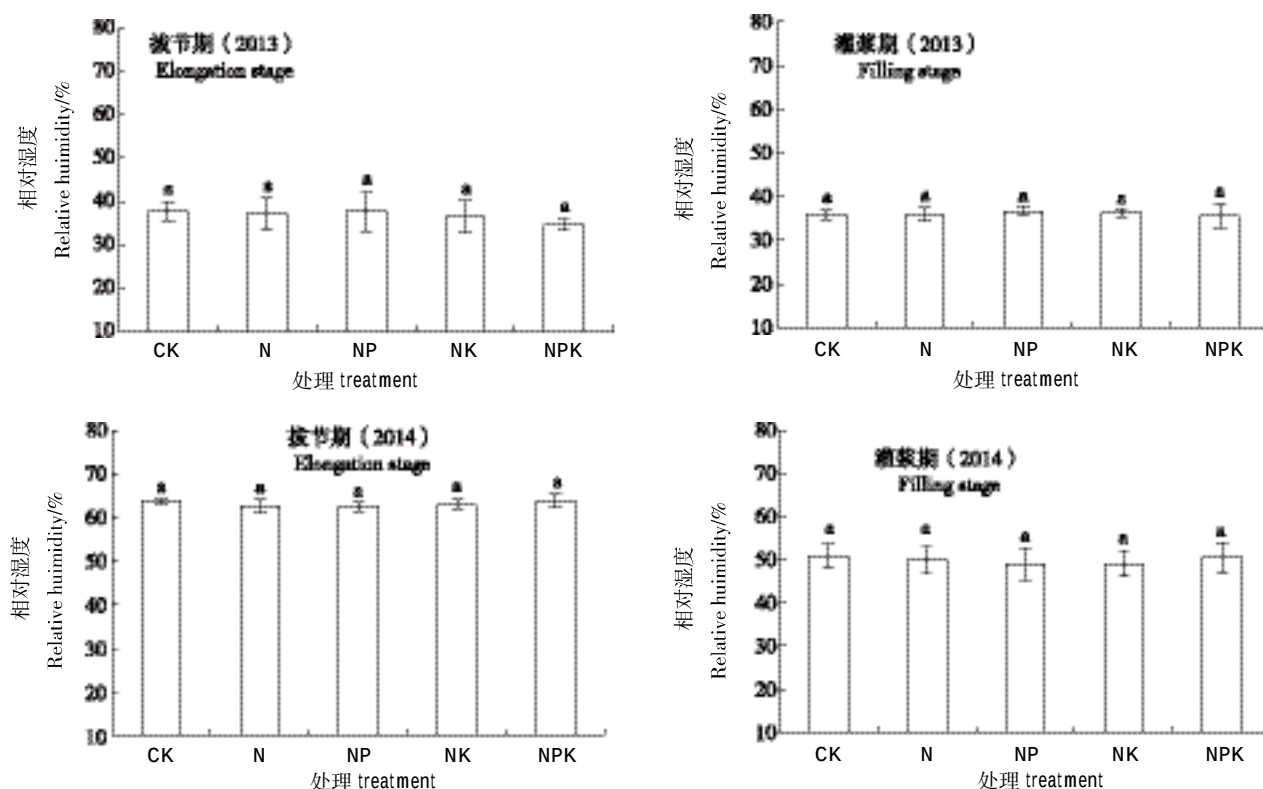


图 3 不同施肥措施下小麦群体内相对湿度的变化

Figure 3 Effects of various fertilizations on wheat's group relative humidity

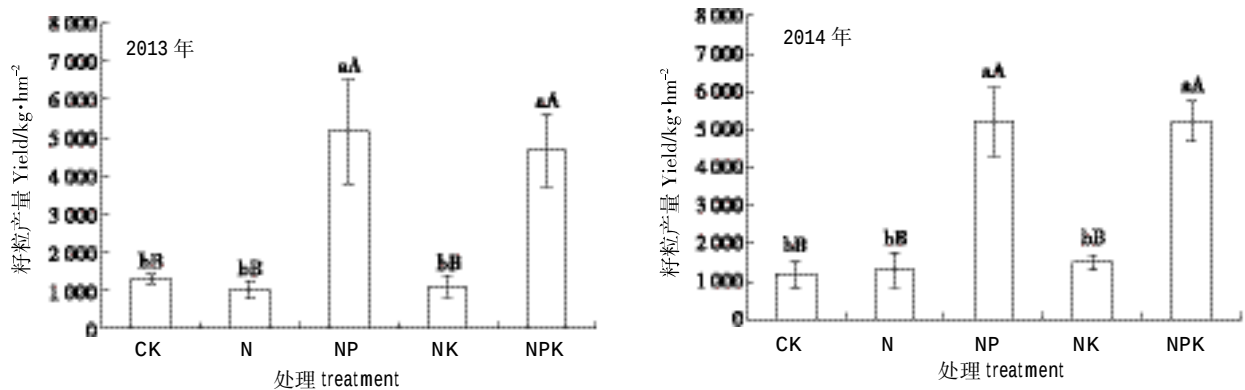


图 4 不同施肥措施下小麦籽粒产量的变化

Figure 4 Effects of various fertilizations on wheat's grain yield

层的光截获率,对挑旗后群体内部 CO_2 浓度有微弱的影响^[25]。本研究通过对不同施肥措施的对比发现,施肥措施也能够影响群体内 CO_2 浓度,小麦拔节期、灌浆期,施肥处理群体内 CO_2 浓度均与 CK 持平或略高;灌浆期,CK 处理的群体内 CO_2 浓度为 $360.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,NK 处理极显著高于 CK,达到 $386.08 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。此外,不同施肥措施下,小麦的群体穗数在灌浆期、成熟期差异最大,N、NK 处理的群体显著或极显著低于 NP、NPK 处理。最终的籽粒产量上也表现在 CK、N、NK 处理的产量较低且极显著低于 NP、NPK 处理,这与以往有关研究结论^[9]相一致,说明本研究的年份是正常年份,研究结论具有一定代表性。

由于受诸多因素的影响,本研究仅选取了小麦拔节期、灌浆期时间段中晴朗天气,光照条件较好的 11 点至 14 点进行点状的测定,研究的结论有待于进一步的验证和完善。

4 结论

本研究初步得出,长期不施肥(CK)、单施氮肥(N)、氮钾肥配施(NK)措施在小麦拔节期、灌浆期容易导致较高的群体冠层温度和群体内地面温度,群体叶片 SPAD 值较低,不利于小麦的生长,造成减产;而氮磷肥配施(NP)、氮磷钾肥配施(NPK)措施则相反,更有利于小麦的生长,获得较高的产量,冠层温度调控幅度在 $0.5 \sim 8^\circ\text{C}$,地面温度调控幅度 $0.5 \sim 16^\circ\text{C}$,群体叶片 SPAD 值改善幅度 3~17 个单位。此外,不同施肥措施对小麦群体内相对湿度、 CO_2 浓度的影响没有表现出一定的规律性。

参考文献:

[1] 聂胜委,黄绍敏,张水清,等.长期定位施肥对作物效应的研究进展[J].土壤通报,2012,43(4):979-986.

NIE Sheng-wei, HUANG Shao-min, ZHANG Shui-qing, et al. Advances in research on effects of long-term located fertilization on crops[J]. Chinese Journal of Soil Sciences, 2012, 43(4):979-986. (in Chinese)

[2] 聂胜委,黄绍敏,张水清,等.长期定位施肥对土壤效应的研究进展[J].土壤,2012,44(2):188-196.

NIE Sheng-wei, HUANG Shao-min, ZHANG Shui-qing, et al. Effects of long term located fertilization on soils: A Review[J]. Soils, 2012, 44(2):188-196. (in Chinese)

[3] 姜东,戴廷波,荆奇,等.长期定位施肥对小麦旗叶膜脂过氧化作用及 GS 活性的影响[J].作物学报,2004,30(12):1232-1236.

JIANG Dong, DAI Ting-bo, JING Qi, et al. Effects of long-term fertilization in fixed plots on cell membrane lipid peroxidation and GS activity in flag leaf of winter wheat [J]. Acta Agronomica Sinica, 2004, 30(12):1232-1236. (in Chinese)

[4] 王俊华,胡君利,林先贵,等.长期定位施肥对潮土微生物活性和小麦养分吸收的影响[J].土壤通报,2010,41(4):807-810.

WANG Jun-hua, HU Jun-li, LIN Xian-gui, et al. Changes in soil microbial activities and nutrient uptake of wheat in response to fertilization regimes in a long-term field experiment[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2010, 41(4):807-810. (in Chinese)

[5] 聂胜委,黄绍敏,张水清,等.不同施肥措施对冬小麦灌浆期氮素吸收分配的影响[J].土壤,2013,45(4):591-597.

NIE Sheng-wei, HUANG Shao-min, ZHANG Shui-qing, et al. Effects of nitrogen uptakes by winter wheat under various fertilizations during filling stage[J]. Soils, 2013,45(4):591-597. (in Chinese)

[6] Nie S W, Huang S M, Zhang S Q, et al. Effects of various fertilizations on soil organic carbon and total nitrogen in winter wheat-summer corn rotation in the Huang-Huai-Hai Plain of China[J]. Journal of Food, Agricultural & Environment, 2012, 10(1):567-572.

[7] 聂胜委,黄绍敏,张水清,等.施肥方式对不同基因型小麦年际间产量及其构成的影响[J].河南农业科学,2014,43(2):51-57.

NIE Sheng-wei, HUANG Shao-min, ZHANG Shui-qing, et al. Effects of fertilization methods on yield and its components of different wheat genotypes between years[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2014, 43(2):51-57. (in Chinese)

[8] 曲环,赵秉强,陈雨海,等.灰漠土长期定位施肥对小麦品质和产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2004,10(1):12-17.

- QU Huan, ZHAO Bing-qiang, CHEN Yu-hai, et al. Effect of long term fertilization on wheat quality and yield in grey desert soil[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004,10(1):12-17. (in Chinese)
- [9] 皇甫湘荣, 杨先明, 黄绍敏, 等. 长期定位施肥对强筋小麦郑麦 9023 产量和品质的影响[J]. 河南农业科学, 2006(4):77-80.
- HUANGPU Xiang-rong, YANG Xian-ming, HUANG Shao-min, et al. Effects of long-term located fertilization on yield and quality of high gluten wheat zhengmai 9023 [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2006(4):77-80. (in Chinese)
- [10] 刘世亮, 马政华, 化党领, 等. 潮土长期定位施肥对中筋型小麦生长和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(4):188-193.
- LIU Shi-liang, MA Zheng-hua, HUA Dang-ling, et al. Effect of long-term fertilized on middle gluten strength wheat growth and quality in Chao soil[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(4):188-193. (in Chinese)
- [11] 古巧珍, 杨学云, 孙本华, 等. 长期定位施肥对小麦籽粒产量及品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(3):76-79.
- GU Qiao-zhen, YANG Xue-yun, SUN Ben-hua, et al. Effects of long-term fertilization on grain yield and quality of wheat[J]. Journal of Triticeae Crop, 2004, 24(3):76-79. (in Chinese)
- [12] Huang S, Zhang W J, Yu X C, et al. Effects of long-term fertilization on corn productivity and its sustainability in an ultisol of southern China[J]. Agriculture Ecosystem & Environment, 2010, 138:44-50.
- [13] Fan T L, Stewart B A, Wang Y, et al. Long-term fertilization effects on grain yield, water-use efficiency and soil fertility in the dry land of loess Plateau in China[J]. Agriculture Ecosystem & Environment, 2005, 106:313-329.
- [14] 沈善敏. 国外的长期肥料试验(一) [J]. 土壤通报, 1984, 2(12):85-91.
- SHEN Shan-min. Experiment of long-term fertilization in foreign countries[J]. Chinese Journal of Soil Sciences, 1984, 2(12):85-91. (in Chinese)
- [15] Zoltan B, Bela G, Dang Q L. Effect of crop rotation and fertilization on maize and wheat yields and yield stability in a long-term experiment [J]. European Journal of Agriculture, 2000, 13(2):225-244.
- [16] Zhang H M, Wang B R, Xu M G, et al. Crop yield and soil responses to long-term fertilization on a red soil in southern China[J]. Pedosphere, 2009, 19(2):199-207.
- [17] Cai Z C, Qin S W. Dynamics of crop yields and soil organic carbon in a long-term fertilization experiment in the Huang-Huai-Hai Plain of China[J]. Geoderma, 2006, 136(3-4):708-715.
- [18] Hao M D, Fan J, Wang Q J, et al. Wheat grain yield and yield stability in a long-term fertilization experiment on the loess plateau [J]. Pedosphere, 2007, 17(2):257-264.
- [19] 李明桃. 农田小气候理论探索[J]. 园艺与种苗, 2014, 12: 27-30, 53.
- LI Ming-tao. Theoretical exploration on field microclimate[J]. Horticulture & Seed, 2014, 12:27-30, 53. (in Chinese)
- [20] 薛盈文, 张英华, 黄 琴, 等. 窄行匀播对晚播小麦群体环境、个体性状和物质生产的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(16): 348-362.
- XUE Ying-wen, ZHANG Ying-hua, HUANG Qin, et al. Effects of narrow row spacing and uniform sowing on canopy environment, individual plant traits, and biomass production in late-sowing winter wheat[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(16):348-362. (in Chinese)
- [21] 孙淑娟, 周勋波, 陈雨海, 等. 冬小麦种群不同分布方式对农田小气候及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 27-31.
- SUN Shu-juan, ZHOU Xun-bo, CHEN Yu-hai, et al. Effects of different distribution patterns of winter wheat's population on farmland micro-climate and yield[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(2):27-31. (in Chinese)
- [22] 许秀娟, 张嵩午. 冷型小麦灌浆期农田小气候特征分析 [J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(4): 34-37.
- XU Xiu-juan, ZHANG Song-wu. Analysis of the farmland microclimatic characteristics of cold type wheat during milk-filling[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2002,10(4):34-37. (in Chinese)
- [23] 李全起, 陈雨海, 于舜章, 等. 灌溉与秸秆覆盖条件下冬小麦农田气候特征[J]. 作物学报, 2006, 32(2): 306-309.
- LI Quan-qi, CHEN Yu-hai, YU Shun-zhang, et al. Micro-climate of winter wheat field under the conditions of irrigation and straw mulching [J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(2):306-309. (in Chinese)
- [24] 聂胜委, 张玉亭, 汤丰收, 等. 粉垄耕作对潮土冬小麦田间群体微生态环境的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2015, 32(2): 204-205.
- NIE Sheng-wei, ZHANG Yu-ting, TANG Feng-shou, et al. Effect of smash ridging tillage on micro-environment of winter wheat group in fluvo-aquic soil farmlands[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2015,32(2):204-205. (in Chinese)
- [25] 李娜娜, 田奇卓, 王树亮, 等. 两种类型小麦品种分蘖成穗对群体环境的响应与调控[J]. 植物生态学报, 2010, 34(3): 289-297.
- LI Na-na, TIAN Qi-zhuo, WANG Shu-liang, et al. Responses and regulation of canopy microclimate on formation spike from tillers of two types of wheat[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(3):289-297. (in Chinese)