

聂胜委, 张巧萍, 张玉亭, 等. 不同优化平衡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, 2018, 35(4): 311-317.

NIE Sheng-wei, ZHANG Qiao-ping, ZHANG Yu-ting, et al. Effects of different optimum and balanced fertilization practices on micro-environment within winter wheat's group[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2018, 35(4): 311-317.

不同优化平衡施肥措施对冬小麦田间群体微环境的影响

聂胜委, 张巧萍, 张玉亭, 宝德俊

(河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 郑州 450002)

摘要:以长期不施肥(CK)为对照,研究氮磷钾配施(NPK)、氮磷钾与有机肥配施(NPKM)、氮磷钾与秸秆还田配施(NPKS)的优化平衡施肥措施对冬小麦田间群体微环境的影响。结果表明,与CK相比,NPK、NPKM、NPKS施肥措施能够有效降低灌浆期小麦群体的冠层温度和拔节期、灌浆期群体内地表温度,获得较高的籽粒产量。不同优化平衡施肥措施对温度影响依次为NPKM>NPK>NPKS。小麦灌浆期,2014年NPK、NPKM、NPKS处理的冠层温度比CK处理低3.53~4.04℃;小麦拔节期,NPK、NPKM、NPKS处理的群体内地表温度比CK处理低10.56~11.78℃(2013年)、0.41~4.60℃(2014年),灌浆期比CK处理低8.32~11.14℃(2013年)、6.79~9.30℃(2014年)。此外,平衡施肥措施对群体内环境CO₂浓度有一定的调节效果,对群体内相对湿度调节不明显。

关键词:平衡施肥;冬小麦;群体;微环境;影响

中图分类号:S181

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2018)04-0311-07

doi: 10.13254/j.jare.2017.0266

Effects of different optimum and balanced fertilization practices on micro-environment within winter wheat's group

NIE Sheng-wei, ZHANG Qiao-ping, ZHANG Yu-ting, BAO De-jun

(Institute of Plant Nutrition and Environmental Resources, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The effects of different optimum and balanced fertilization practices including NPK (Inorganic N and P and K fertilizer), NPKM (inorganic N, P, and K fertilizer with manure), and NPKS (inorganic N, P, and K fertilizer with manure straw), on micro-environment within winter wheat's group was studied. The results showed that, compared with CK (no fertilizer), NPK, NPKM, and NPKS treatments could effectively reduce the winter wheat's group canopy temperature at filling stage, surface ground temperature at elongation stage and filling stage, and obtain higher grain yields; and the influence order was NPKM>NPK>NPKS. At filling stage, wheat's canopy temperature of NPK, NPKM, and NPKS treatment was reduced by 3.53~4.04℃ in 2014 compared with CK; likely, wheat group inner ground temperature at elongation stage was reduced by 10.56~11.78℃ in 2013 and 0.41~4.60℃ in 2014, respectively, and 8.32~11.14℃ in 2013 and 6.79~9.30℃ in 2014 of wheat group inner ground temperature at filling stage was reduced. Additionally, NPK, NPKM, and NPKS practices had quite little influences on carbon dioxide (CO₂) contents within the wheat's group and had no significant effects on relative humidity within the wheat's group.

Keywords: optimum and balanced fertilization practice; winter wheat; group; micro-environment; effects

小麦生产在我国粮食生产中占有重要地位,施肥对小麦生长以及养分吸收影响较大^[1-2]。与不施肥比,氮磷肥配施、氮磷钾肥配施及其与有机肥或秸秆还田配合施用能够提高小麦对养分的吸收效率^[3-4],增加群

体有效穗数^[5],获得较高产量^[4,6-7],而且氮磷钾肥配施增产效果更为明显^[8-10]。同时,也有助于提高小麦籽粒的蛋白质含量、改善其品质^[11]。此外,施肥有助于调节和改善不同基因型小麦产量性状及变异程度,维持遗

收稿日期:2017-11-03 录用日期:2018-01-03

基金项目:河南省农业科学院优秀青年科技基金项目(2013YQ15);国家自然科学基金项目(31301284);国家重点研发专项(2017YFD0201702);河南省商品粮大省奖励资金示范推广项目(20170018);河南省肉牛产业技术体系建设专项资金项目(SJ2018006)

作者简介:聂胜委(1979—),男,河南汝州人,博士,副研究员,主要从事作物营养、农作制度、循环农业等方面的研究。E-mail: nsw2007@cau.edu.cn

传的相对稳定性^[12]。

农田微环境(或小气候)是指农田中作物层里形成的特殊气候或环境状态,群体微环境受到农作物品种、种植密度、株行距、行向、生育期以及叶面积等多种因素影响^[13]。农田群体环境对小麦分蘖成穗的影响比遗传因素更大,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^[14]。施肥措施对作物群体微环境有较大的影响,以往的研究发现,长期的不施肥、单施氮肥、氮钾肥配施(CK、N、NK)措施容易造成小麦拔节期、灌浆期群体较高的冠层温度和群体内地面温度,而且叶片 SPAD 值也较低,不利于小麦的生长;在玉米大喇叭口期对群体冠层温度影响较小,温度较高^[15-16]。施肥影响小麦的生长,进而影响到不同生育阶段的农田微环境。近年来,由于农田化肥农药过量施用造成生态环境恶化、污染的报道日益增多。据统计,化学肥料生产量由 1978 年的 869.30 万 t 增长到 2014 年的 6 876.85 万 t,增加近 7 倍。为此,国家提出到 2020 年实现化肥“零增长”行动计划,围绕作物自身养分需求和土壤供肥能力的优化平衡施肥措施更加受到关注。本研究基于多年的定位施肥试验,依据小麦养分需求、土壤养分供给等因素,研究了氮磷钾配施(NPK)、氮磷钾与有机肥配施(NPKM)、氮磷钾与秸秆还田配施(NPKS)3 种优化平衡施肥措施对小麦田间群体微环境的影响,为进一步探究施肥措施与小麦群体微环境关系、提高养分吸收效率、实现化肥“零增长”、获得小麦高产提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于河南省农业科学院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,年平均气温为 14.4℃,>10℃积温约 5169℃。7 月最热,平均温度为 27.3℃;1 月最冷,平均温度为 0.2℃。年平均降雨量为 645 mm,无霜期为 224 d,年平均蒸发量为 1450 mm,年日照时间约 2400 h。土壤类型为潮土。试验于 1990 年开始,土壤样品的养分情况:土壤有机质 10.1 g·kg⁻¹、碱解氮 76.6 mg·kg⁻¹、有效磷 6.5 mg·kg⁻¹、有效钾 74.5 mg·kg⁻¹、全氮 0.65 g·kg⁻¹、全磷 0.64 g·kg⁻¹、全钾 16.9 g·kg⁻¹,pH 值 8.3。通过多年的定位施肥,土壤养分情况逐渐趋于稳定^[17]。

1.2 试验设计

试验以不施肥(CK)为对照,3 种优化平衡施肥措

施分别为氮磷钾配施(NPK)、氮磷钾与有机肥配施(NPKM)、氮磷钾与秸秆还田配施(NPKS)。试验小区为完全随机排列,小区面积为 5 m×9 m,每个处理重复 3 次。试验所用的氮肥为尿素(N 45%),磷肥为磷酸二氢钙(P₂O₅ 12.5%),钾肥为硫酸钾(K₂O 51%),有机肥为牛粪(全氮 9.4 g·kg⁻¹,全磷 3.5 g·kg⁻¹,全钾 6.7 g·kg⁻¹,有机质 172.6 g·kg⁻¹;用量 12 287.2 kg·hm²,水分含量≤14%),秸秆为当季玉米秸秆(全氮 4.8 g·kg⁻¹,全磷 3.9 g·kg⁻¹,全钾 15.8 g·kg⁻¹;用量 24 062.5 kg·hm²,水分含量≤14%)。除 CK 处理外,其他 3 个施肥处理总的氮施用量相同,磷肥、钾肥、有机肥(牛粪)、秸秆(秸秆粉碎后翻压还田)作基肥一次施入,无机氮肥基施 60%,返青拔节期追施 40%,各处理施肥量见表 1。小麦品种为郑麦 0856,播种量为 300 kg·hm⁻²,分别于 2012 年、2013 年 10 月中上旬播种,于 2013 年、2014 年 6 月上旬收获;各处理灌溉、除草、病虫害防治等田间管理措施均一致。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 群体动态

在小麦苗期、拔节期、灌浆期、成熟期,固定 1 m 双行调查田间群体动态。

1.3.2 群体内微环境

在小麦拔节期(2013 年 4 月 2 日、2014 年 3 月 23 日)、灌浆期(2013 年 5 月 21 日、2014 年 5 月 16 日),选晴朗天气,在当日 11:00—14:00 光照条件良好的时间段测定群体冠层温度(℃)、群体内地表温度(℃)、二氧化碳(CO₂)浓度、相对湿度(%)以及上部完全展开叶片(灌浆期为旗叶)SPAD 值等指标,其中群体冠层温度和群体内地表温度用红外线测温仪(Hongkong)测定,群体内 CO₂ 浓度和相对湿度用 CO₂ Meter 计(USA)测定,叶片 SPAD 值用 SPAD 计测定,

表 1 不同优化平衡施肥处理氮、磷、钾肥施用量(kg·hm⁻²)
Table 1 Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizer application levels for different optimum and balanced fertilization practices(kg·hm⁻²)

处 理 Treatments	无机肥 Inorganic fertilizer			有机肥 Organic fertilizer
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N
CK	0	0	0	0
NPK	165	82.5	82.5	0
NPKM	49.5	82.5	82.5	115.5 ^a
NPKS	49.5	82.5	82.5	115.5 ^b

注:“a”为施入有机肥牛粪所带入的氮量,“b”为秸秆还田后带入的氮量。

选取小麦植株上部完全展开叶(拔节期)和旗叶(灌浆期)的中部位置测定。上述各指标每个点重复测定 6 次取平均值。

1.3.3 产量

在成熟期,各处理实收 4 m²,测产。

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 2007、DPS 7.05 等软件进行整理分析,用 LSD 法进行差异显著性分析, $P\leq 0.05$ 、 $P\leq 0.01$ 分别表示显著、极显著差异水平。

2 结果与分析

2.1 不同优化平衡施肥措施对小麦群体动态的影响

由图 1 可以看出,在苗期,各处理间群体数差异不显著。拔节期,不同处理之间的群体数差异较大,CK(290.83 万茎·hm⁻²)群体数最小,极显著低于平衡施肥处理;平衡施肥处理中,NPKM(1 729.00 万茎·hm⁻²)处理的群体数最大,NPK 次之,NPKS 最低。灌浆期,NPK、NPKM、NPKS 处理的群体数差异不显著,但均极显著高于 CK。成熟期,NPK、NPKM、NPKS 处理依然保持较高的群体数,分别为 797.78、1 060.32、954.43 万茎·hm⁻²,均极显著高于 CK(403.24 万茎·

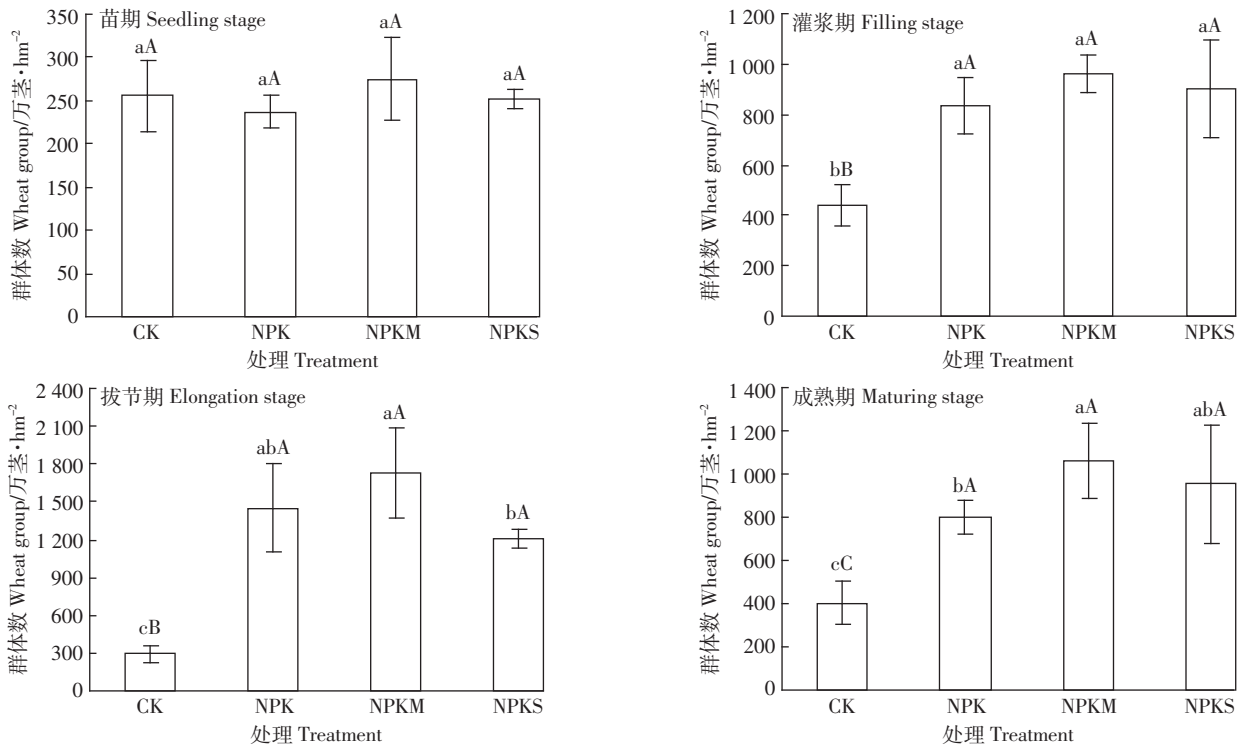
hm⁻²);NPKM 处理显著高于 NPK 处理。这说明即便是优化平衡施肥措施,各措施之间的差异亦可导致小麦不同生育阶段群体数不同,从整个群体动态的变化效果来看,NPKM>NPKS>NPK。

2.2 不同优化平衡施肥措施对小麦田间群体内微环境的影响

2.2.1 群体冠层温度及地表温度

如前所述,优化平衡施肥措施具有较高的群体数,其通过蒸腾、光合等生理生化代谢途径的能量交换来改变周围温度的能力相对较强。由表 2 可以看出,小麦灌浆期,2013 年 NPK、NPKM、NPKS 处理与 CK 处理的小麦群体冠层温度差异不显著;但是在 2014 年 NPK(25.20 ℃)、NPKM(24.69 ℃)、NPKS(25.48 ℃)处理的群体冠层温度均极显著低于 CK(28.73 ℃),降低 3.53~4.04 ℃;优化平衡施肥措施之间,NPKM 最低,比 NPK、NPKS 处理分别低 0.51、0.79 ℃,处理间差异不显著。

小麦群体内地表温度的变化结果显示,小麦拔节期,2013 年,NPK、NPKM、NPKS 处理均极显著低于 CK(33.55 ℃),降低 10.56~11.78℃;2014 年,平衡施肥处理的小麦群体内地表温度均低于 CK(19.34 ℃);平



不同小、大写字母分别表示处理间差异显著($P\leq 0.05$)、极显著($P\leq 0.01$)。下同
Lower case and upper case letters of the different treatment mean significant difference at $P\leq 0.05$ and $P\leq 0.01$ levels, respectively. The same below

图 1 不同平衡施肥措施对小麦群体动态的影响(2013—2014)

Figure 1 Effects of different optimum fertilization practices on wheat's group dynamics(2013—2014)

平衡施肥措施之间差异不显著, $\text{NPKM} < \text{NPK} < \text{NPKS}$ 。小麦灌浆期, 2013 年, 平衡施肥处理的地表温度均极显著低于 CK (34.47°C), 降低 $8.32 \sim 11.14^\circ\text{C}$; 其中 NPKM 最低, 显著低于 NPKS 和 CK 处理。2014 年趋势与 2013 年相同, 平衡施肥处理内地表温度也极显著低于 CK, 降低 $6.79 \sim 9.30^\circ\text{C}$; 平衡施肥处理之间差异不明显, $\text{NPKM} < \text{NPK} < \text{NPKS}$ 。

小麦通过群体数、群体蒸腾以及光合等途径的热量交换来调控周围环境温度, 温度降低是小麦群体对外部环境的自我适应和保护; 群体冠层和群体内地表的温度差的这种保护可以通过优化平衡施肥措施来解决, 而且不同的平衡施肥措施对温度调控存在一定的差异。

2.2.2 叶片 SPAD 值

叶绿素在植物光合、蒸腾等生理代谢过程中发挥着重要作用, 对群体环境因子的影响是间接的。由表 3 可以看出, 小麦拔节期, 2013 年, 各平衡施肥处理小麦上部完全展开叶 SPAD 值差异不显著, 但均极显著高于 CK, 高出 $17.44 \sim 18.57$ 个单位。2014 年趋势相似, 高出 $9.90 \sim 13.63$ 个单位, 均极显著高于 CK; 平衡施肥处理之间差异不显著, SPAD 值大小依次为 $\text{NPK} > \text{NPKM} > \text{NPKS}$ 。

2013 年小麦灌浆期平衡施肥处理 SPAD 值与 CK (45.96) 相比差异不显著, NPKM、NPKS 处理高于

CK, NPK 处理低于 CK, 这可能是由于小麦灌浆期天气较干旱, 导致小麦旗叶过早出现衰老而造成田间的变异较大, 掩盖了本该产生的显著性差异; NPKM 显著高于 NPK 处理, $\text{NPKM} > \text{NPKS} > \text{NPK}$ 。2014 年, 平衡施肥处理的叶片 SPAD 值均高于 CK, NPK、NPKM 处理显著高于 CK, 平衡施肥处理之间差异不显著, $\text{NPK} > \text{NPKM} > \text{NPKS}$ 。

2.2.3 群体内 CO_2 浓度和相对湿度

由图 2 可以看出, 2013 年拔节期、灌浆期以及 2014 年拔节期, 所有处理间以及平衡施肥处理之间的群体内 CO_2 浓度差异较小, 差异不显著。2014 年小麦灌浆期, 平衡施肥处理的群体内 CO_2 浓度均高于 CK ($360.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 其中 NPKM ($395.76 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)、NPKS ($393.14 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 极显著高于对照, NPK ($378.42 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 最低, 平衡施肥处理之间差异不大。由图 3 可知, 群体湿度受多种因素的影响, 2013、2014 两年拔节期、灌浆期, 小麦群体内相对湿度在所有处理之间差异均不显著, 说明施肥措施对群体内的相对湿度影响不明显。

2.3 不同优化平衡施肥措施对小麦籽粒产量的影响

优化平衡施肥措施依据小麦生长的养分需求特点和土壤自身养分的供给情况, 做到了养分的合理施用, 有效促进了小麦群体的生长、发育, 并通过自身的生理过程反馈调节群体的微环境, 提高自身的抗逆能

表 2 不同优化平衡施肥措施对小麦群体冠层温度及地表温度的影响($^\circ\text{C}$)

Table 2 Effects of different optimum and balanced fertilization practices on wheat's group canopy temperature and surface ground temperature($^\circ\text{C}$)

处理 Treatments	冠层温度 Canopy temperature		地表温度 Surface ground temperature			
			2013 年		2014 年	
	2013 年 灌浆期 Filling stage	2014 年 灌浆期 Filling stage	2013 年 拔节期 Elongation stage	2013 年 灌浆期 Filling stage	2014 年 拔节期 Elongation stage	2014 年 灌浆期 Filling stage
CK	$27.76 \pm 1.22\text{aA}$	$28.73 \pm 1.63\text{aA}$	$33.55 \pm 3.59\text{aA}$	$34.47 \pm 0.97\text{aA}$	$19.34 \pm 0.62\text{aA}$	$31.67 \pm 1.18\text{aA}$
NPK	$27.52 \pm 0.79\text{aA}$	$25.20 \pm 1.60\text{bB}$	$21.81 \pm 1.77\text{bB}$	$25.83 \pm 2.90\text{bcB}$	$16.21 \pm 1.15\text{bcA}$	$23.84 \pm 2.73\text{bB}$
NPKM	$28.42 \pm 0.38\text{aA}$	$24.69 \pm 1.11\text{bB}$	$21.77 \pm 1.67\text{bB}$	$23.33 \pm 1.58\text{cB}$	$14.74 \pm 0.16\text{cA}$	$22.37 \pm 0.50\text{bB}$
NPKS	$28.00 \pm 0.60\text{aA}$	$25.48 \pm 0.59\text{bB}$	$22.99 \pm 1.63\text{bB}$	$26.15 \pm 0.70\text{bB}$	$18.93 \pm 0.73\text{abA}$	$24.88 \pm 0.64\text{bB}$

注: 不同小、大写字母分别表示处理间差异显著 ($P \leq 0.05$)、极显著 ($P \leq 0.01$)。下同。

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

表 3 不同优化平衡施肥措施对小麦上部完全展开叶片 SPAD 值的影响

Table 3 Effects of different optimum and balanced fertilization practices on SPAD values of the upper expanded leave

处理 Treatments	2013 年		2014 年	
	2013 年 拔节期 Elongation stage	2013 年 灌浆期 Filling stage	2014 年 拔节期 Elongation stage	2014 年 灌浆期 Filling stage
CK	$36.10 \pm 0.23\text{bB}$	$45.96 \pm 5.61\text{abA}$	$36.32 \pm 0.64\text{bB}$	$33.49 \pm 6.43\text{bA}$
NPK	$53.87 \pm 0.35\text{aA}$	$32.46 \pm 15.00\text{bA}$	$49.95 \pm 1.57\text{aA}$	$43.64 \pm 6.77\text{aA}$
NPKM	$54.67 \pm 0.45\text{aA}$	$52.29 \pm 1.41\text{aA}$	$49.91 \pm 2.93\text{aA}$	$43.47 \pm 8.13\text{aA}$
NPKS	$53.54 \pm 2.15\text{aA}$	$49.69 \pm 0.78\text{abA}$	$46.22 \pm 1.40\text{aA}$	$37.32 \pm 1.93\text{abA}$

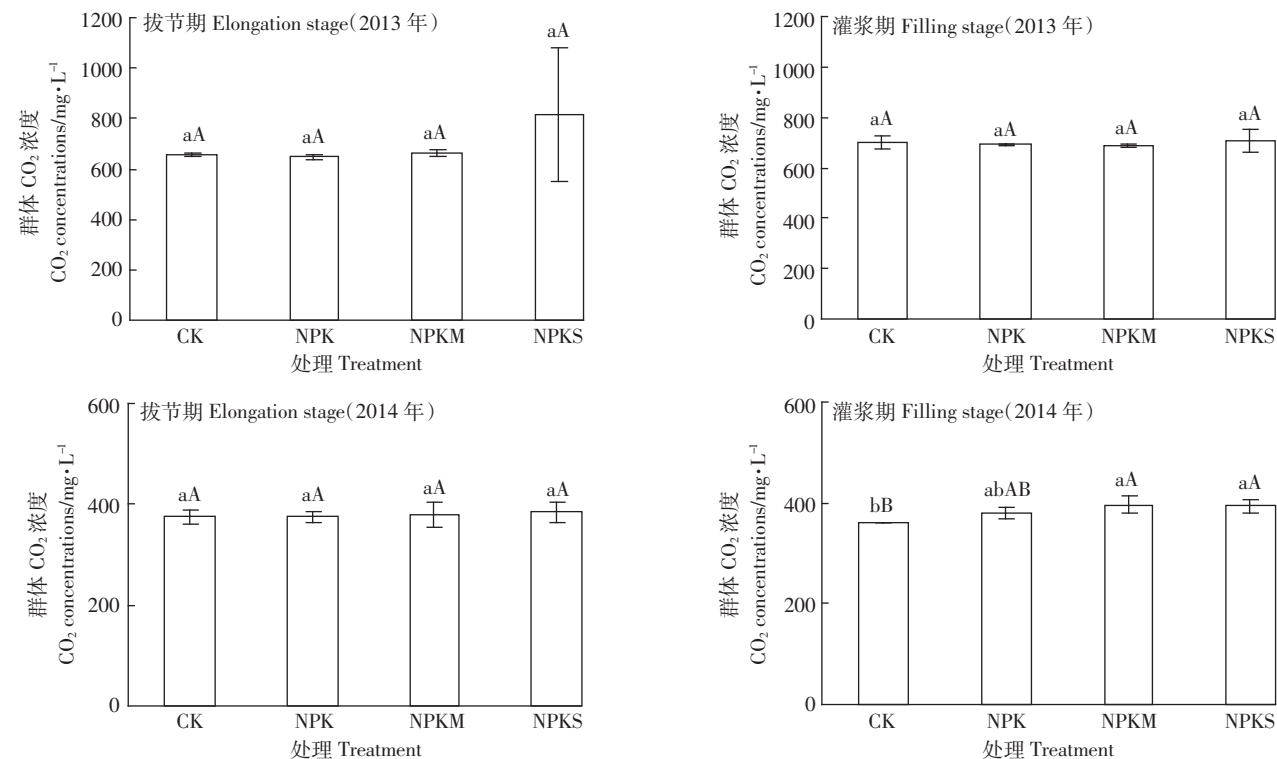


图 2 不同平衡施肥措施对小麦群体内 CO₂ 浓度的影响

Figure 2 Effects of different optimum fertilization practices on wheat's group CO₂ concentrations

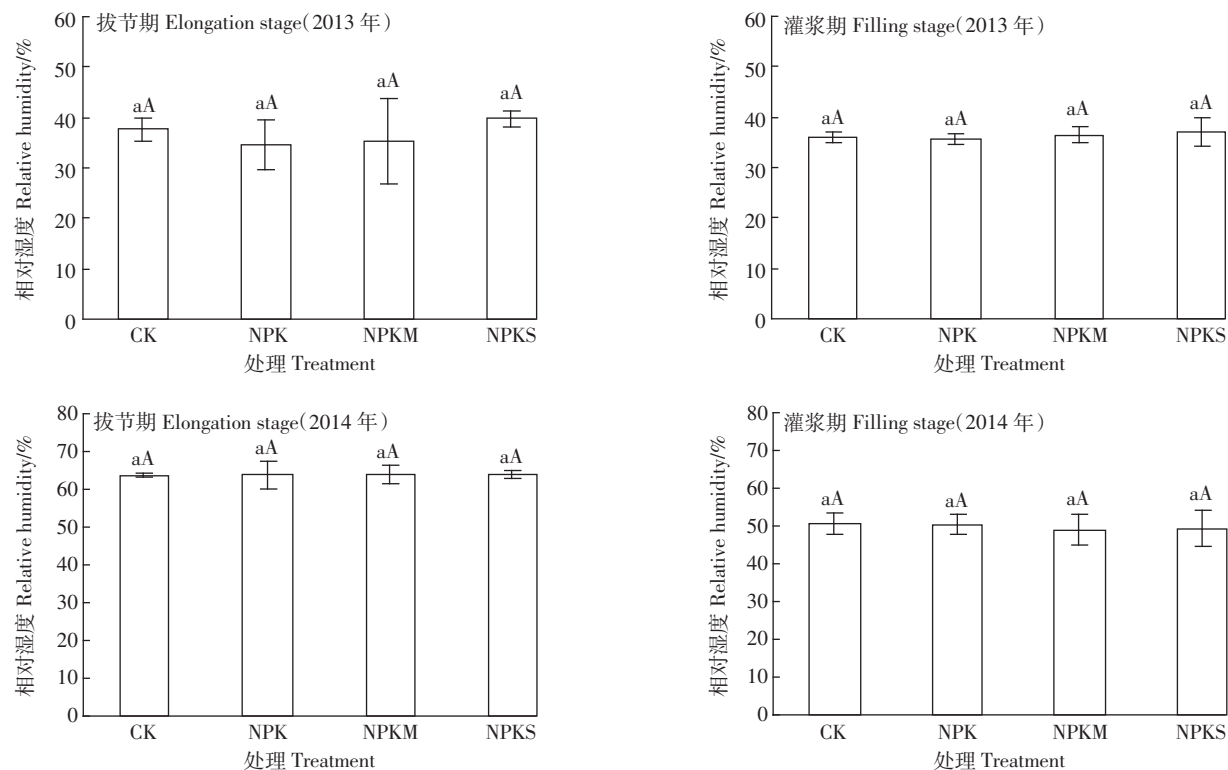


图 3 不同平衡施肥措施对小麦群体内相对湿度的影响

Figure 3 Effects of different optimum fertilization practices on wheat's group relative humidity

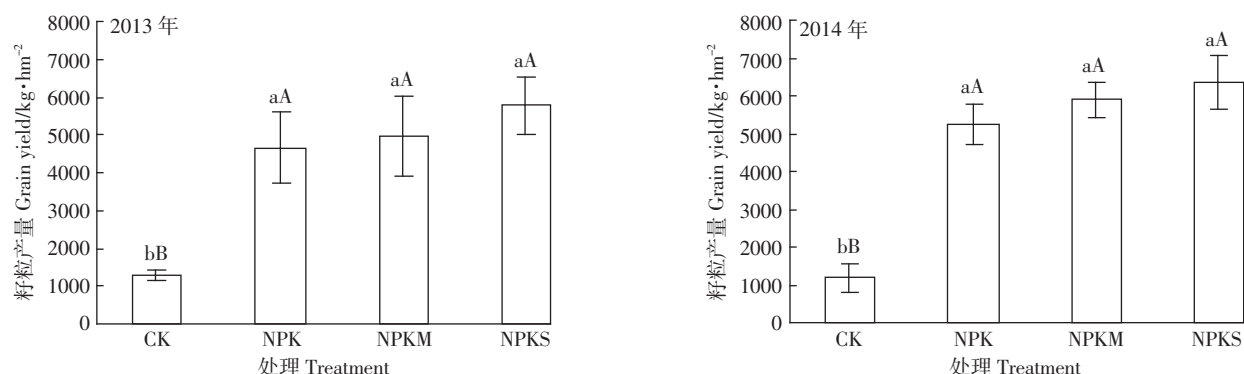


图 4 不同平衡施肥措施对小麦籽粒产量的影响

Figure 4 Effects of different optimum fertilization practices on grain yield

力,从而获得较高的籽粒产量。由图 4 可以看出,平衡施肥处理的小麦籽粒产量均极显著高于 CK 处理, NPK、NPKM、NPKS、CK 处理的产量在 2013 年和 2014 年分别为 4 658.94、4 972.67、5 784.91、1 301.25 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 5 234.71、5 901.71、6 354.78、1 184.79 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; NPKS>NPKM>NPK>CK,平衡施肥处理之间差异不显著。

3 讨论

田间群体微环境受到作物品种、栽培密度、生育期以及叶面积大小等多种因素影响^[13, 15, 18-20]。本研究发现,优化平衡施肥措施通过小麦群体自身生理生化过程中的热交换来反馈调节群体微环境,能够降低群体冠层和群体内地表温度,创造了更利于小麦生长的群体微环境,提高了对不良因子的抵御能力,既保护了自身,又获得较高的籽粒产量(NPKS>NPKM>NPK>CK,图 4)。值得注意的是,在小麦灌浆期,对照处理冠层温度低于地表温度,而其他处理均是冠层温度高于地表温度,这一方面是由于田间群体数存在差异, NPK、NPKM、NPKS 处理的群体数分别为 838.39、958.78、902.21 万茎· hm^{-2} ,比 CK(440.95 万茎· hm^{-2})高出一倍左右(图 1);另一方面,优化施肥处理小麦植株健壮、高大,叶片肥厚,对照处理则相反,这些主要反映在干物质积累量上^[4, 21],最终造成了 CK 处理群体稀少、弱小,光线能直接照射到田面,进而导致地表温度上升较快,冠层则由于叶片蒸腾带来的吸热效应而温度上升较慢。以上两方面造成了 CK 与优化平衡施肥的差异。这说明通过施肥措施来调节或改善群体环境温度,从而达到自我的保护是可以实现的。但是作物生产的群体微环境受温度、风速、降水以及土壤理化性质等多种因素的影响,仅通过施肥措施来调节效果有限,因此,在农业生产上应综合运用多种措施

来实现小麦群体最优的群体微环境,获得高产。

4 结论

本研究表明,与不施肥(CK)相比,平衡施肥(NPK、NPKM、NPKS)措施能够有效地降低灌浆期小麦群体的冠层温度和拔节期、灌浆期群体内地表温度,获得较高的籽粒产量。不同优化平衡施肥措施对温度影响依次为 NPKM>NPK>NPKS。小麦灌浆期,2014 年冠层温度比 CK 处理低 3.53~4.04 $^{\circ}\text{C}$ 。小麦拔节期,2013 年、2014 年群体内地表温度分别降低 10.56~11.78 $^{\circ}\text{C}$ 、0.41~4.60 $^{\circ}\text{C}$,灌浆期分别降低 8.32~11.14 $^{\circ}\text{C}$ 、6.79~9.30 $^{\circ}\text{C}$ 。

平衡施肥措施能提高小麦拔节期、灌浆期(2013 年 NPK 处理除外)叶片的 SPAD 值,拔节期,2013 年、2014 年分别高出 CK 17.44~18.57、9.90~13.63 个单位;各平衡施肥(NPK、NPKM、NPKS)处理之间存在一定差异,但是没有明显的规律性。此外,平衡施肥措施对群体内环境 CO_2 浓度有一定的调节效果,对群体内相对湿度调节作用不明显。

群体微环境受气候因子等因素的影响较大,本研究所得结论是初步的,具体更为客观的结论尚需进一步的研究。

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.
- [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.
- [3] 陆梅,任爱霞,孙敏,等.氮磷肥配施对旱地小麦高产的影响[J]. 山西农业科学, 2016, 44(6):762-768.
LU Mei, REN Ai-xia, SUN Min, et al. Effect of combined application of nitrogen and phosphorus fertilizer on high yield of dry land wheat[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2016, 44(6):762-768.
- [4] 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.
- [5] 王毅,任爱霞,孙敏,等.休闲期深翻覆盖配施氮磷肥对旱地小麦群体动态、叶面积的影响及其与产量的相关性[J]. 山西农业科学, 2014, 42(3):242-246.
WANG Yi, REN Ai-xia, SUN Min, et al. Effect of deep tillage and mulch in fallow period and nitrogen and phosphorus fertilizer before sowing on change of groups tiller, leaf area and their correlation with yield in dry land wheat[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2014, 42(3):242-246.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 聂胜委,张巧萍,宝德俊,等.平衡施肥对不同品种小麦产量构成的年际间变化的影响[J]. 山西农业科学, 2015, 43(8):962-967.
NIE Sheng-wei, ZHANG Qiao-ping, BAO De-jun, et al. Yearly differences of wheat yields' components under different balanced fertilizations[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2015, 43(8):962-967.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 聂胜委,张巧萍,张玉亭,等.不同施肥措施对夏玉米田间群体微环境的影响[J]. 山西农业科学, 2017, 45(1):54-59.
NIE Sheng-wei, ZHANG Qiao-ping, ZHANG Yu-ting, et al. Effect of various fertilization practices on micro-environment of summer maize's group[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2017, 45(1):54-59.
- [17] 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.
- [18] 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):204-208.
NIE Sheng-wei, ZHANG Yu-ting, TANG Feng-shou, et al. Effects 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):204-208.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 聂胜委,黄绍敏,张水清,等.长期定位施肥对冬小麦吸收利用氮素的影响[J]. 生态环境学报, 2012, 21(6):1037-1043.
NIE Sheng-wei, HUANG Shao-min, ZHANG Shui-qing, et al. Impacts of nitrogen uptakes by winter wheat under various long-term located fertilizations[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(6):1037-1043.