

种植方式和施氮量对冬小麦产量 和农田小气候的影响

王兴亚^{1,3},周勋波²,钟雯雯³,陈雨海³,韩 坤³
(1.中国农业大学农学院,北京 100094; 2.广西大学农学院,广西 南宁 530004;
3.山东农业大学农学院,山东 泰安 271018)

摘 要: 分析了不同种植方式和施氮量对农田小生境的影响,研究提高小麦产量的优化组合。采取随机区组设计,设置两种种植方式:30 cm 等行距平作(U)、20 cm + 40 cm 沟播(F);三种氮素处理:生育期不施氮(N0)、生育期总施氮量为 112.5 kg·hm⁻²(N1)、生育期总施氮量为 225 kg·hm⁻²(N2),3 次重复。结果表明,沟播 0~15 cm 土壤温度比平作降低 0.4℃,5、50 cm 的空气温度分别降低了 0.3℃、0.5℃,空气湿度分别增加了 2.8%、3.1%,进而土壤裸间蒸发强度降低了 9.9%;在灌浆期,沟播比平作冠层光合有效辐射截获率的日均值提高了 13.5%;在 N1 条件下,沟播的产量显著高于平作($P<0.05$)。随着施氮量的增加,小气候的各项指标有所改善,但是幅度在逐渐减少;在沟播条件下,N1 产量显著高于 N0($P<0.05$),N2 和 N1 之间没有显著性的差异($P>0.05$)。综合考虑到产量和施肥量,20 cm + 40 cm 沟播和施氮量 112.5 kg·hm⁻²是较好的种植方式。

关键词: 土壤温度;空气温度;相对湿度;土壤蒸发强度;冬小麦;产量

中图分类号: S143.1; S512.1 **文献标志码:** A

Planting pattern and nitrogen rate on farmland microclimate and yield of winter wheat

WANG Xing-ya^{1,3}, ZHOU Xun-bo², ZHONG Wen-wen³, CHEN Yu-hai³, HAN Kun³
(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China;
2. Agricultural College of Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004, China;
3. Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: This study aims to study the effects of planting pattern and nitrogen rate on the farmland microclimate, and indentify possible ways to improve the yield of winter wheat. The field experiment was conducted with a randomized complete block design with three replicates. The two planting patterns were: (1) 30 cm uniform row planting pattern (U), and (2) 20 cm + 40 cm furrow planting pattern (F). Three nitrogen rate treatments applied as N0 (0 kg·hm⁻²), N1 (112.5 kg·hm⁻²), and N2 (225 kg·hm⁻²) during the whole growth period. Results showed that F decreased the soil temperature (0~15 cm) by 0.4℃ and air temperature (5, 50 cm) by 0.3℃ and 0.5℃ respectively, and increased the air humidity by 2.8% and 3.1% respectively, thus reducing the soil evaporation intensity by 9.9%. In the filling stage, Fevidently increased the diurnal photosynthetic active radiation capture ratio by 13.5% in the upper layer. The grain yield of F was significantly higher than that of U under N1 ($P<0.05$). The farmland microclimate has been improved with the increase of nitrogen rate, but the extent gradually decreased. Under the condition of F, the yield of N1 was significantly higher than that of N0($P<0.05$), but with no significant difference between N1 and N2($P>0.05$). Therefore, combination of F and 112.5 kg·hm⁻² nitrogen rate was the optimum practices for winter wheat production from perspective of grain yield and fertilizer application amount.

Keywords: soil temperature; air temperature; relative humidity; soil water content; soil evaporation; winter wheat; yield

收稿日期:2016-01-25
基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)(2013AA102903)
作者简介:王兴亚(1990—),女,山东聊城人,硕士研究生,研究方向为农田生态与水肥资源高效利用。E-mail: wangyaya2013@163.com。
通信作者:周勋波(1972—),男,黑龙江富锦人,副教授,研究方向为农田生态与水肥资源高效利用。E-mail: xunbozhou@163.com。

冬小麦是我国重要的粮食作物之一,播种面积占我国农作物总播种面积的 20%,产量占到粮食总产量的 20%~25%^[1]。在过去的几十年里,为了提高小麦的单产,增加粮食产量,化肥使用量逐年增加,其中,氮肥占到 60%。大量氮肥的投入尽管获得了较高的籽粒产量,但是过多的氮肥施用不但会造成农业生产成本的提高和氮肥利用率的降低,还会导致一系列环境问题的产生^[2-4]。因此,提高冬小麦的产量和氮肥利用率,实现粮食的高产高效,是我国农业研究的关键所在^[5]。

作物的种植方式影响群体结构的建成和生长动态,在高产种植条件下效果更明显^[6],进而导致群体内部农田环境发生变化,造成作物蒸腾蒸发和光截获的不同^[7-9]。因此,通过调整种植方式来构建一个合理的小气候对作物生长发育和产量提高十分重要。与传统种植方式相比,小麦垄作可降低田间湿度、改善群体内部的通风透光条件和提高作物的产量^[10-11]。孙淑娟^[12]等研究发现,行株距分布较均匀的处理能够明显降低近地面空气温度和 0~5 cm 土壤温度,增加空气湿度,减少了棵间蒸发,提高了作物产量。刘忠堂^[13]、Board 等^[14]研究表明,大豆适当增加株距、缩小行距能够有效地截获光能。

不同的种植方式对农田小气候的影响前人已做了不少研究,但是不同的种植方式和施氮量相结合

对其影响的研究较少。本文针对目前的状况,将种植方式和施氮量相结合,研究其对农田小气候和产量的影响,探讨最佳的种植方式和施氮量的组合,以期为山东省小麦的稳产增产,降低肥料使用量提供一定的理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验设计

1.1.1 试验地概况 试验于 2013—2014 年在山东农业大学农学实验站(36°09'N, 117°09'N)水分池进行,水分池面积为 9 m²(3 m×3 m)。池壁高出地面 20 cm,壁厚 15 cm,地下 2 m,四周用水泥抹面,以防止水分侧渗。该地为半湿润暖温带大陆性季风气候,全年太阳辐射总量为 4.66×10⁶ kJ·m⁻²,全年平均日照时数 2 627 h,年际变化在 2 342~3 413 h,年平均降水量为 688.3 mm,主要集中在 7、8 月份。年平均气温为 12.9℃,以七月份最高,平均为 26.4℃,一月份最低,平均为 -2.6℃。全年平均≥0℃的积温 4 731℃,≥10℃的积温 4 213℃,无霜期平均为 196 d。表 1 为冬小麦生长季月降雨量,总降雨量为 158.4 mm,降雨主要集中在 5 月份。试验地土壤类型为沙壤土,土壤耕层(0~20 cm)有机质含量为 18.9 g·kg⁻¹,碱解氮 123.2 mg·kg⁻¹,速效磷 40.6 mg·kg⁻¹,速效钾 124.5 mg·kg⁻¹;pH 值为 6.9,容重为 1.50 g·cm⁻³,田间土壤含水量为 25.3%(V%)。

表 1 冬小麦生长季节的月降雨量/mm

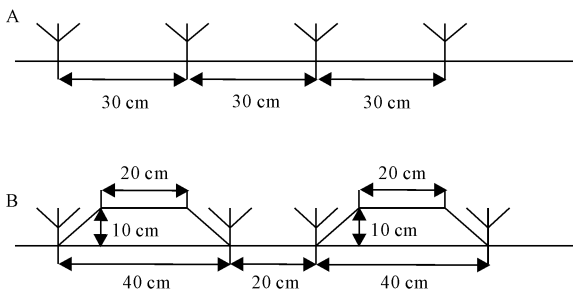
Table 1 Monthly rainfall in the winter wheat growing season

项目 Item	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 May	总量 Total
降雨量 Rainfall	3.7	26.5	0	0	17.1	0.3	32.7	78.1	158.4

1.1.2 试验设计 供试品种为济麦 22 号,于 2013 年 10 月 10 日按 4×10⁶ 株·hm⁻²进行人工点播,播种深度为 2~3 cm,间苗保证基本苗为 2×10⁶ 株·hm⁻²。分别在拔节、抽穗和灌浆期灌溉 50 mm,水表控制灌溉量。

冬小麦生育期内施磷肥(P₂O₅)120.0 kg·hm⁻²,钾肥(K₂O)105.0 kg·hm⁻²,均作底肥一次性施入。所施氮肥为尿素,分两次等量施用,一次作底肥,一次拔节期追肥。平作氮肥采用普通撒施方法,沟播将氮肥集中施到沟里。

冬小麦群体在同一密度下设 30 cm 等行距平作(U)、20 cm+40 cm 沟播(F)两种种植方式。沟播处理,沟深 10 cm,沟顶宽 40 cm、底宽 20 cm,垄顶宽 20 cm,底宽 40 cm,行距为 20 cm 的小麦种在沟内(图 1)。



注:A 为 30 cm 等行距平作;B 为 20 cm+40 cm 沟播。

Note: A: 30 cm uniform row planting pattern; B: 20 cm+40 cm furrow planting pattern.

图 1 种植方式示意图

Fig.1 A schematic diagram showing

3 种植方式下分别设置 3 个氮肥(纯氮)梯

度,即 $N0:0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $N1:112.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $N2:225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。本试验共 6 个处理,3 次重复,采用完全随机区组设计。

1.2 测定项目和方法

1.2.1 农田小生境测定 土壤温度:冬小麦生育期间,选取除边行外长势均匀的一行,在等行距的行中间,沟播的沟中间,提前安好测定 0、5、10、15 cm 深度土壤温度的地温表,从 3 月 26 日开始,每 6 天在上午 8:00 和 14:00 分别测定一次,平均值作为日温度。

空气温度和相对湿度:冬小麦在拔节期(GS35)、挑旗期(GS44)、抽穗期(GS49)、灌浆期(GS71)、成熟期(GS80),用便携式气象监测仪 NK4000(Nielsen - Kellerman Co., Boothwyn, USA)测定距地面 5、50 cm 的温度和相对湿度。测定时,选取除边行外长势均匀的一行,在等行距的行中间,沟播的沟中间,将仪器分别放在距离地面 5、50 cm 处进行测定。每个处理 3 次重复。

蒸发强度:在冬小麦的拔节期、灌浆期,在每个小区内选取除边行外长势均匀的一行,在等行距的行中间,沟播的沟中间,用自制的小型蒸渗装置(内径 50 mm、壁厚 2 mm、高 50 mm 的环刀)和 1/1000 天平测定棵间蒸发,3 次重复,连续测定 5 天,遇降雨需要重新测定。

光合有效辐射(PAR)截获的测定:在小麦的灌浆期,在每个小区内选取除边行外长势均匀的一行,在等行距的行中间,沟播的沟中间,8:00—16:00,用冠层分析仪每 2 h 测定 1 次冠层顶部入射和反射的光合有效辐射,计算 PAR 截获率。

1.2.2 产量测定 每个小区取 1 m^2 小麦进行测定。

1.2.3 气象指标监测及试验数据统计 农业气象站(距离试验地点 500 m)的 ET106 监测作物生育期间的自然降雨量和太阳辐射量。试验数据用 SigmaPlot 10.0 软件制图,用 DPS 软件进行统计分析(LSD 法)。

2 结果与分析

2.1 种植方式和施氮量对土壤温度的影响

从 2014 年 3 月 26 日—5 月 25 日,每 6 d 测定 1 次土壤温度,结果见图 2。从图中可以看出,生育期内土壤温度大致呈现上升的趋势,但是会有一定的波动,这主要是和大气温度和降雨有关。在 30 cm 等行距平作和 20 cm + 40 cm 沟播种植方式下,0~15 cm 土层平均温度分别为 18.6°C 、 17.8°C ;不同土壤层次,U 和 F 的种植方式下土壤温度分别为 22.6°C 、

20.8°C (0 cm), 18.3°C 、 17.6°C (5 cm), 17.0°C 、 16.5°C (10 cm), 16.4°C 、 16.1°C (15 cm),随土层加深土壤温度呈下降趋势。在 0、5、10、15 cm 处,F 比 U 的土壤温度分别降低了 8.0%、3.8%、2.9%、1.8%;0~15 cm,F 比 U 降低了 4.3%。

不同土壤层次, $N0$ 、 $N1$ 、 $N2$ 处理的土壤温度分别为 22.5°C 、 21.7°C 、 20.9°C (0 cm), 18.5°C 、 17.8°C 、 17.6°C (5 cm), 17.2°C 、 16.6°C 、 16.5°C (10 cm), 16.5°C 、 16.1°C 、 16.2°C (15 cm);0~15 cm 土壤温度的平均值分别为 18.6°C 、 18.0°C 、 17.8°C 。 $N2$ 的土壤温度最低,分别比 $N0$ 、 $N1$ 降低了 4.3%、1.1%。随着施氮量的增加,土壤温度逐渐降低,但是降低的幅度逐渐减小。

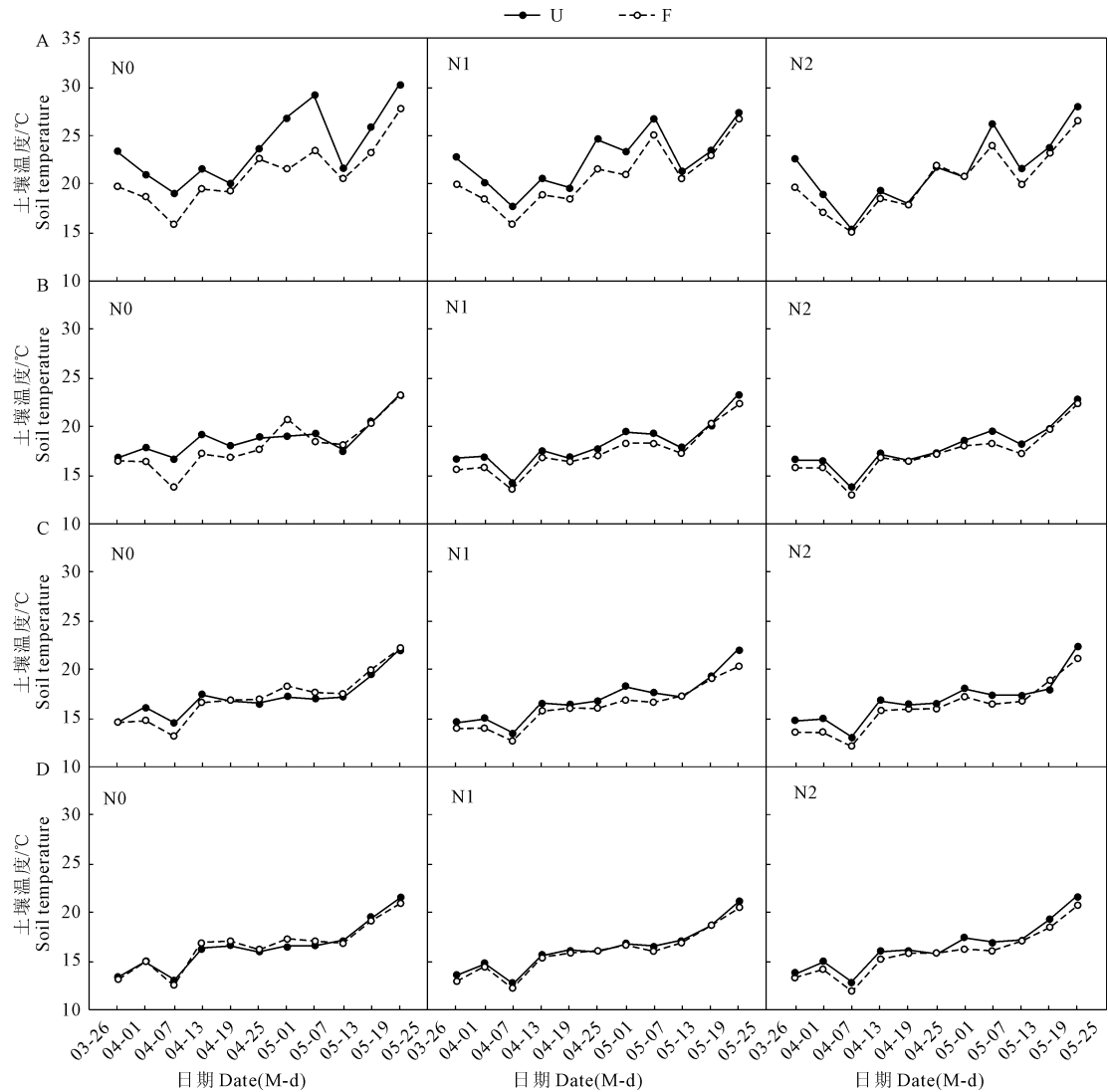
2.2 种植方式和施氮量对空气温度的影响

从图 3 中可以看出,F 处理的空气温度明显低于 U。在 U 和 F 种植方式下,地上 5 cm 和 50 cm 的空气温度分别为 23.5°C 、 23.2°C 和 22.7°C 、 22.2°C ,F 比 U 降低 0.4°C 。地上 5 cm 和 50 cm 的空气温度的平均值为 23.1°C 、 22.7°C ,地上 5 cm 的空气温度要高于 50 cm 的空气温度。地上 5 cm 的空气温度, $N0$ 和 $N1$ 处理下,在成熟期,F 显著低于 U ($P < 0.05$); $N2$ 处理下,在拔节期,F 显著低于 U ($P < 0.05$)。地上 50 cm 的空气温度, $N0$ 处理下,在成熟期,F 显著低于 U ($P < 0.05$); $N1$ 处理下,在抽穗期和成熟期下,F 显著低于 U ($P < 0.05$); $N2$ 处理下,在挑旗期,F 显著低于 U ($P < 0.05$)。

$N0$ 、 $N1$ 、 $N2$ 的空气温度分别为 23.5°C 、 23.4°C 、 23.3°C (地上 5 cm) 和 22.7°C 、 22.4°C 、 22.2°C (地上 50 cm),两个层次的平均值 $N0$ 、 $N1$ 、 $N2$ 分别为 23.1°C 、 22.9°C 、 22.8°C 。 $N1$ 比 $N0$ 降低了 0.2°C , $N2$ 比 $N1$ 降低了 0.1°C ,随着施氮量增加,降低的幅度逐渐减小。

2.3 种植方式和施氮量对相对湿度的影响

相对湿度是空气中的绝对湿度与同温度下的饱和绝对湿度的比值,能够反映农田作物生长层次的温度、风速及土壤水分状况,是农田小气候的一个重要指标。U 和 F 的相对湿度分别为 54.1%、57.3% (地上 5 cm) 和 48.8%、51.9% (地上 50 cm),平均值为 51.5% 和 54.6%。地上 50 cm 处的相对湿度明显低于地上 5 cm 处,F 比 U 高 6.0%。 $N0$ 条件下,在抽穗期,F 显著高于 U ($P < 0.05$),在挑旗期和灌浆期,50 cm 的相对湿度,F 显著高于 U ($P < 0.05$); $N1$ 条件下,在抽穗期,F 显著高于 U ($P < 0.05$); $N2$ 条件下,在抽穗期,5 cm 的相对湿度,F 显著高于 U ($P < 0.05$)。



注: A、B、C、D 分别代表 0、5、10、15 cm 土壤层次;U—30 cm 等行距平作,F—20 cm + 40 cm 沟播,下同。
Note: A, B, C, D represent 0, 5, 10 and 15 cm soil layer, respectively. U—30 cm uniform row planting pattern, F—20 cm + 40 cm furrow planting pattern. The same below.

图 2 冬小麦生育期间土壤温度变化

Fig.2 Soil temperature during winter wheat growth stage

N0、N1、N2 的相对湿度分别为 52.2%、56.8%、58.3%(地上 5 cm)和 49.6%、50.7%、50.8%(地上 50 cm),50 cm 的相对湿度整体低于 5 cm。5 cm 和 50 cm 的平均值 N0、N1、N2 分别为 50.9%、53.8%、54.6%。N1 比 N0 高 5.7%,N2 比 N1 高 1.5%,表明随着施氮量的增加,空气相对湿度趋于一致,但是仍高于 N0 处理(图 4)。

2.4 种植方式和施氮量对土壤逐日蒸发强度的影响

在小麦的拔节期和灌浆期,连续测定 6 d 土壤棵间蒸发强度。从图 5 中可以看出,在灌浆期土壤逐日蒸发强度是呈递减的趋势,拔节期可能是受天气状况的影响,呈现波动的状态。U 和 F 的日蒸发强度分别为 1.40、1.25 mm(拔节期)和 1.72、1.56

mm(灌浆期),拔节期的蒸发强度小于灌浆期,F 比 U 低 10.7%(拔节期)和 9.3%(灌浆期)。

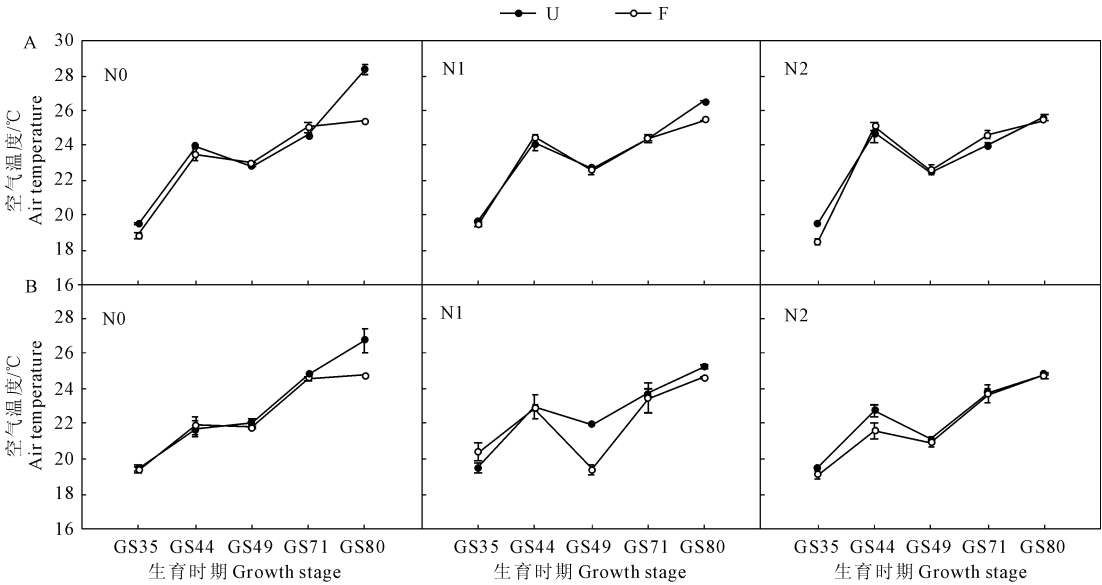
N0、N1、N2 的日蒸发强度分别为 1.53、1.31、1.13 mm(拔节期)和 1.83、1.61、1.49 mm(灌浆期),两个时期的平均值 N0、N1、N2 分别为 1.68、1.46、1.31 mm。N1 比 N0 低 0.22 mm,降低了 13.1%,N2 比 N1 低 0.15 mm,降低了 10.3%。在灌浆期,N1 比 N0 降低了 12.0%,N2 比 N1 降低了 7.4%。随施氮量增加土壤蒸发强度呈现下降的趋势,但是下降的幅度在减小。

2.5 种植方式和施氮量对冠层光合有效辐射截获率的影响

在一天中,灌浆期的 PAR 截获率呈现先降低后

增高的趋势,在中午 12:00 截获率最低。U 和 F 的 PAR 截获率分别为 57.2%和 66.2%(N0),67.2%和 80.1%(N1)、66.7%和 85.2%(N2)。在 N0 时,在 8:00、12:00、14:00、16:00 时,F 的截获率显著大于 U ($P < 0.05$);在 N1 时,在 10:00、12:00、14:00、16:00 时,F 的截获率显著大于 U ($P < 0.05$);在 N2 时,F 显著高于 U ($P < 0.05$)。在 8:00、10:00、12:00、14:00、16:00,F 比 U 分别高 6.1%、24.4%、67.1%、12.4%、16.7%,F 在 12:00 时优势最明显。

N0、N1、N2 的 PAR 截获率分别为 61.7%、73.7%、76.0%,趋势为 $N2 > N1 > N0$,N1 比 N0 增加 19.4%,N2 比 N1 增加 3.1%,N2 和 N1 之间没有显著性的差异($P > 0.05$)。表明随着施氮量的增加,PAR 截获率逐渐增加,但是增加的幅度在逐渐减小。在 8:00、10:00、12:00、14:00、16:00,N1 比 N0 分别提高了 10.1%、26.4%、41.5%、17.4%、12.2%,N2 比 N1 分别提高了 2.4%、0.8%、7.2%、4.0%、3.1%,施氮量对 PAR 的影响在中午 12:00 达到最显著(图 6)。



注:A、B 分别代表地上 5、50 cm;误差线为标准误;GS35—拔节期;GS44—挑旗期;GS49—抽穗期;GS71—灌浆期;GS80—成熟期。下同。
Note: A and B, 5 cm and 50 cm above ground; the bars are the SE. GS35—jointing stage, GS44—picking flag stage, GS49—heading stage, GS71—filling stage, GS80—maturity stage. The same below.

图 3 不同种植方式和氮素处理下空气温度
Fig.3 Air temperature under different planting patterns and nitrogen treatments

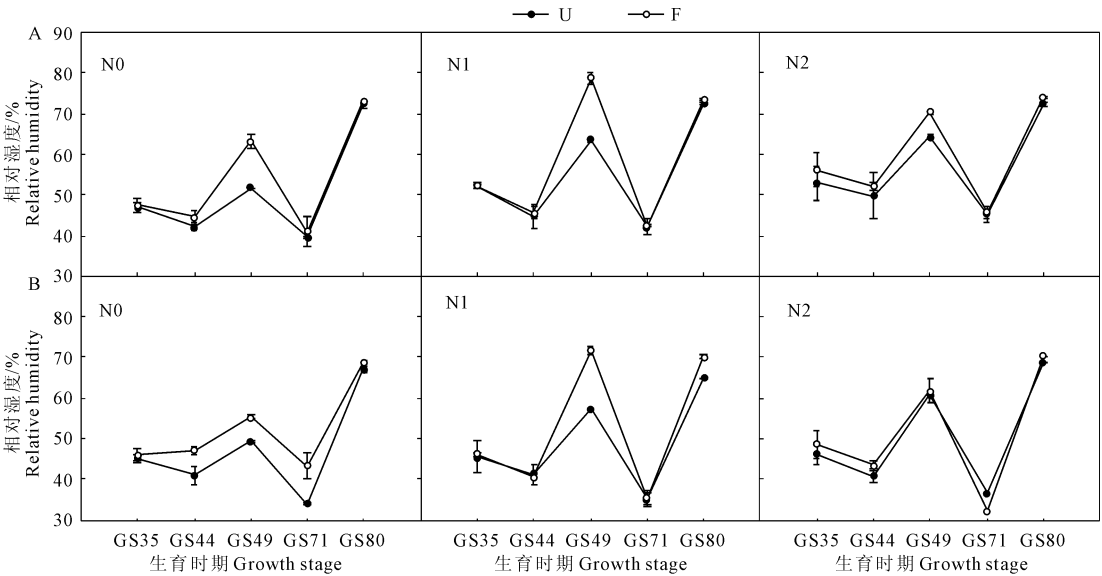


图 4 不同种植方式和氮素处理下空气相对湿度
Fig.4 Relative humidity of air under different planting patterns and nitrogen treatments

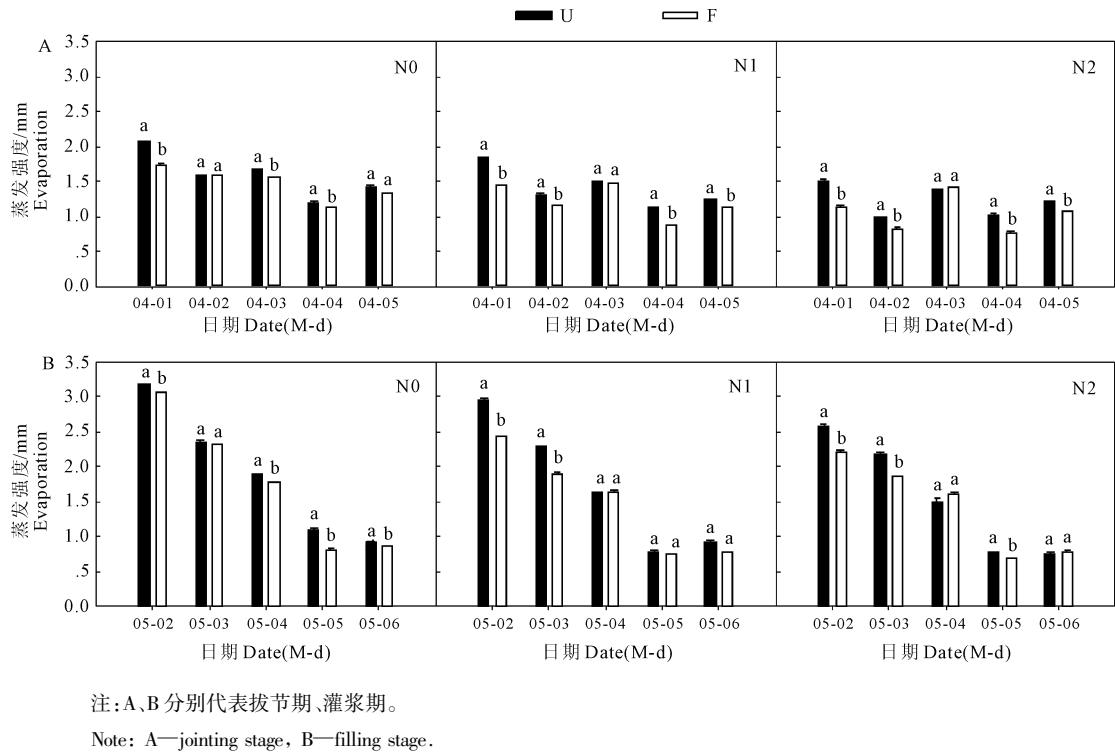


图 5 不同种植方式和氮素处理下土壤日蒸发强度变化

Fig.5 Changes of soil evaporation under different planting patterns and nitrogen treatments

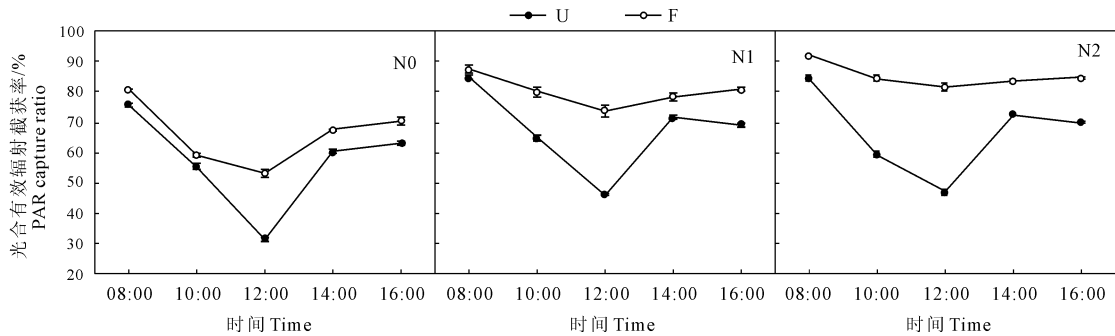


图 6 不同种植方式和施氮量对 PAR 截获率日变化的影响。

Fig.6 Effects of planting pattern and nitrogen treatments on the daily PAR capture ratio of winter wheat.

2.6 农田小气候和小麦产量的相关性分析

U 和 F 处理的产量分别为 $5\,443\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $5\,119\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (N0)、 $6\,185\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $7\,074\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (N1)、 $7\,027\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $7\,194\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (N2), U 和 F 的平均值为 $6\,218$ 、 $6\,462\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。N0 时 F 的产量低于 U,但是两者之间没有显著性差异 ($P>0.05$); N1 时 F 的产量显著高于 U ($P<0.05$); N2 时 F 的产量高于 U,但是两者之间差异性不显著 ($P>0.05$)。

在 U 和 F 下, N0、N1、N2 的产量分别为 $5\,443$ 、 $6\,185$ 、 $7\,073\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $5\,119$ 、 $7\,074$ 、 $7\,194\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。U 处理产量的顺序为: N2 > N1 > N0, 氮素处理间没有显著差异 ($P>0.05$); F 处理, N1 的产量显著高于 N0 ($P<0.05$), 但是 N2 和 N1 间没有显著差异 ($P>$

0.05)。

从表 2 中可以看出,产量和土壤温度、土壤蒸发强度呈极显著负相关 ($P<0.01$),与空气相对湿度、PAR 截获率呈极显著正相关 ($P<0.01$),与空气温度呈显著负相关 ($P<0.05$);土壤温度与空气温度、土壤蒸发强度呈极显著正相关 ($P<0.01$),与相对湿度、PAR 截获率呈极显著负相关 ($P<0.01$);空气温度与土壤蒸发强度呈极显著正相关 ($P<0.01$),与相对湿度、PAR 截获率呈极显著负相关 ($P<0.01$);相对湿度与土壤蒸发强度呈极显著负相关 ($P<0.01$),与 PAR 截获率呈极显著正相关 ($P<0.01$);土壤蒸发强度与 PAR 截获率呈极显著负相关 ($P<0.01$)。

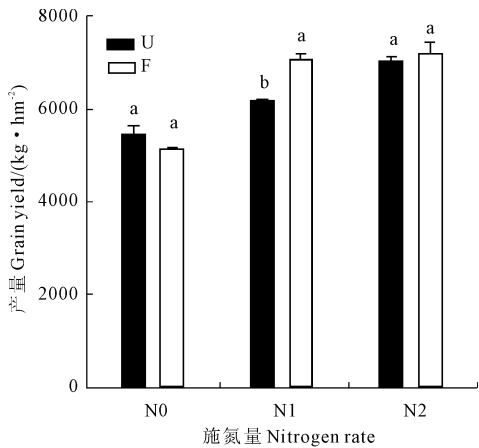


图 7 不同种植方式和施氮量对产量的影响

Fig.7 Effects of planting pattern and nitrogen treatments on the yield of winter wheat

3 讨 论

农田小气候包括从地面到 2.0 m 内贴地气层的气候条件和浅层土壤的气候条件^[15],组成要素包括温度、湿度、光照、水分、风速等。农田小气候对作物的生长、发育和产量的形成有很大的影响。因此,构建一个合理的农田小气候十分重要。

在本试验中,沟播在距离地面 5 cm 和 50 cm 处降低了空气温度和土壤棵间蒸发强度,空气温度的

降低能够减少对资源的消耗,能够更有利于同化物的转移,有利于作物的生长发育,而温度升高会降低作物的产量和品质^[16]。土壤温度和空气温度呈现极显著的正相关,空气温度的降低会使得土壤温度降低,在 0~15 cm 层次,沟播较平作降低了土壤温度,研究表明,较高的土壤温度会导致能量的浪费、营养的散失和作物产量的降低^[17]。相对湿度和土壤温度、空气温度呈现极显著负相关,沟播提高了空气相对湿度,这样会进一步降低土壤棵间蒸发强度,土壤水分散失较少。土壤蒸发强度和产量呈现极显著负相关,有研究表明,沟播能够将大水漫灌变为局部漫灌,且具有集雨效应,将无效降雨变为有效降雨,能够帮助减少土壤蒸发量,控制无效的蒸发,从而提高作物的产量和水分利用率^[18-22]。在本试验中,沟播较平作明显增加了光截获率,进而减少了透射率,棵间蒸发所消耗的能量主要来自透射到地面的太阳辐射能,透射率的降低必然使得用于棵间蒸发的能量减少,从而降低了棵间蒸发,减少了土壤水分的无效消耗,也可能提高灌溉水、降水和土壤水的利用效率。沟播较平作能够增加光合有效辐射截获率,明显降低土壤温度和空气温度,增加空气湿度,减少土壤的棵间蒸发强度,改善农田生态环境,为作物的高产奠定了良好的基础。

表 2 冬小麦农田小气候和产量的相关性

Table 2 Correlation coefficients between farmland microclimate and wheat grain yield

项目 Items	产量 Yield	土壤温度 Soil temperature	空气温度 Air temperature	相对湿度 Relative humidity	土壤蒸发强度 Soil evaporation	PAR 截获率 PAR capture ratio
产量 Yield	1.000	-0.712**	-0.514*	0.653**	-0.805**	0.702**
土壤温度 Soil temperature		1.0000	0.812**	-0.909**	0.863**	-0.953**
空气温度 Air temperature			1.000	-0.810**	0.643**	-0.743**
相对湿度 Relative humidity				1.000	-0.814**	0.843**
土壤蒸发强度 Soil evaporation					1.000	-0.850**
PAR 截获率 PAR capture ratio						1.000

注: * 相关系数显著水平为 $P<0.05$; ** 相关系数显著水平为 $P<0.01$ 。

Note: * and **, significant at $P<0.05$ and $P<0.01$ level, respectively.

在本研究中,随着施氮量的增加,光合有效辐射截获率提高,空气温度、土壤温度降低,空气相对湿度提高,土壤棵间蒸发强度降低,有效改善了农田小气候,但是这些指标的改善幅度在逐渐变小,尤其是在沟播处理中,N1 处理的产量显著高于 N0 处理,但是与 N2 处理之间没有显著性的差异,这充分说明小麦沟播集中施肥较平播撒施肥料对提高肥料利用率和改善农田生态条件等有明显的作用,有利于提

高播种质量和培育壮苗^[23]。

4 结 论

本试验通过调整冬小麦的种植方式,构建不同的群体结构,研究不同种植方式和施氮量对农田小气候的影响。试验表明沟播种植方式能够明显降低土壤温度、空气温度,增加空气湿度,减少了土壤棵间蒸发强度,增加了光合有效辐射截获率,有效改善

了农田小气候,减少了土壤水分的无效蒸发,为作物的高产创造了条件。随着施氮量的增加,农田小气候的各项指标都有所改善,但是幅度在逐渐缩小。考虑到产量和施肥量,我们认为 20 cm + 40 cm 沟播和施氮量为 112.5 kg·hm⁻²是较合理的种植方式。

参 考 文 献:

[1] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.

[2] Chen X P, Zhang F, Römheld V, et al. Synchronizing N supply from soil and fertilizer and N demand of winter wheat by an improved Nmin method[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2006, 74(2): 91-98.

[3] Ma W, Li J, Ma L, et al. Nitrogen flow and use efficiency in production and utilization of wheat, rice, and maize in China[J]. *Agricultural Systems*, 2008, 99(1): 53-63.

[4] Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, 106(9): 3041-3046.

[5] 张福锁, 陈新平. 协调作物高产与环境保护的养分资源综合管理技术研究与应用[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008: 75-80.

[6] 宋 伟, 赵长星, 王月福, 等. 不同种植方式对花生田间小气候效应和产量的影响[J]. *生态学报*, 2011, 31(23): 7188-7195.

[7] 孙 睿, 刘昌明. 地表水热通量研究进展[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(3): 434-438.

[8] 关德新, 吴家兵, 王安志, 等. 长白山阔叶红松林生长季热量平衡变化特征[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1828-1832.

[9] 刘海军, 康跃虎, 刘士平. 喷灌对农田小气候的影响研究[J]. *中国农业生态学报*, 2003, 11(4): 103-107.

[10] 王旭清, 王法宏, 任德昌, 等. 小麦垄作栽培的田间小气候效应及对植株发育和产量的影响[J]. *中国农业气象*, 2003, 24(2): 5-8.

[11] Ren T S, Larney F J, McGinn S M, et al. Soil temperature regimes as influenced by rotation, tillage and row spacing for winter wheat [J]. *Transactions of the CASE*, 2002, 18(5): 52-60.

[12] 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.

[13] 刘忠堂. 大豆窄行密植高产栽培技术的研究[J]. *大豆科学*, 2002, 21(2): 116-122.

[14] Board J E, Harville B G. Explanations for greater light interception in narrow-vs. wide-row soybean[J]. *Crop Science*, 1992, 32(1): 198-202.

[15] 中国农业科学院. 中国农业气象学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 13-15.

[16] Norwood C A, Dumler T J. Transition to dryland agriculture[J]. *Agronomy Journal*, 2002, 94(2): 310-320.

[17] Zhou X B, Sun S J, Yang G M, et al. Farmland microclimate and yield of winter wheat under different row spacing[J]. *Tarim Bilimleri Dergisi*, 2012, 18(1): 1-8.

[18] Li X Y, Gong J D. Effect of different ridge: furrow ratios and supplemental irrigation on crop production in ridge and furrow rain harvesting system with mulches[J]. *Agricultural Water Management*, 2002, 54(3): 243-254.

[19] Tian Y, Su D, Li F, et al. Effect of rainwater harvesting with ridge and furrow on yield of potato in semiarid areas[J]. *Field Crops Research*, 2003, 84(3): 385-391.

[20] Xie Z K, Wang Y J, Li F M. Effect of plastic mulching on soil water use and spring wheat yield in arid region of northwest China[J]. *Agricultural Water Management*, 2005, 75(1): 71-83.

[21] Jia Y, Li F M, Wang X L, et al. Soil water and alfalfa yields as affected by alternating ridges and furrows in rainfall harvest in a semi-arid environment[J]. *Field Crops Research*, 2006, 97(2): 167-175.

[22] 李永平, 贾志宽, 刘世新, 等. 旱作农田微集水种植产流蓄墒扩渗特征研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(2): 86-90.

[23] 董彦卿, 张冀涛. 沟播集中施肥对旱地小麦产量及产量因素的影响[J]. *麦类作物学报*, 1993, 13(5): 35-37.