

不同穗型超高产小麦旗叶 CO₂ 同化能力的比较

王之杰^{1,2,3} 郭天财^{1,*} 朱云集¹ 王永华¹ 王纪华³ 赵明^{2*}

(¹河南农业大学,国家小麦工程技术研究中心,河南郑州 450002;²中国农业大学农学与生物技术学院,北京 100094;³国家农业信息化工程技术研究中心,北京 100089)

摘要 在超高产条件下,对多穗型小麦品种豫麦 49 和大穗型品种周麦 13 旗叶净光合速率 (P_n)、RuBP 羧化酶 (RuBPcase) 活性、羧化效率 (CE) 及 P_n 对 CO₂ 的响应进行了研究。结果表明,两品种旗叶一生 P_n 、RuBPcase 活性变化趋势一致,各处理旗叶展开后 P_n 和 RuBPcase 活性逐渐上升,于展开后第 10 天达最大值,之后逐渐下降。两品种相比,旗叶展开的 0~10 d 内豫麦 49 各处理的 P_n 、RuBPcase 活性、CE 均高于周麦 13,而第 20 天以后周麦 13 则高于豫麦 49。豫麦 49 CO₂ 饱和点低于周麦 13,而其 CO₂ 补偿点则高于周麦 13。两品种 B₂ 处理(基本苗 150 × 10⁴ 株 hm⁻²) 旗叶表现出明显的 CO₂ 同化优势。

关键词 小麦;超高产;CO₂;同化能力
中图分类号: S512

Comparison of CO₂ Assimilation Capacity in Flag Leaf for Super-high-yield Wheat with Different Spike Type

WANG Zhi-Jie^{1,2,3}, GUO Tian-Cai^{1,*}, ZHU Yun-Ji¹, WANG Yong-Hua¹, WANG Ji-Hua³, ZHAO Ming²

(¹Henan Agricultural University, National Engineering Research Center for Wheat, Zhengzhou 450002, Henan;²College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094;³National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100089, China)

Abstract The responses of net photosynthesis rate (P_n), RuBPcase activity and carboxylation efficiency (CE) in flag leaf for two cultivars, Yumai 49, a small spike type, and Zhoumai 13, a large spike type, to CO₂ concentration were studied in super-high-yield condition. The P_n and RuBPcase activity increased gradually in the initial 10 days and reached the maximum value at the 10th day, then declined gradually for both the cultivars after flag leaf fully expanded. Compared with Zhoumai 13, Yumai 49 had higher P_n , RuBPcase activity and CE in 0-10 days after flag leaf fully expanded, and vice versa after the 20th day. Yumai 49 had lower CO₂ saturation point but higher CO₂ compensation point than that of Zhoumai 13. We came to the conclusion that Zhoumai 13 had higher CO₂ assimilation capacity than Yumai 49. The B₂ treatment (base plant of 150 × 10⁴ plant ha) of the two cultivars had apparent advantages in CO₂ assimilation capacity.

Key words Winter wheat; Super-high-yield; CO₂; Assimilation capacity

小麦产量的 90%~95% 来自光合作用过程中形成的光合产物^[1,2],旗叶光合速率是决定其产量的关键因素^[3,4],成熟籽粒中干物质的 20%~30% 来自旗叶光合作用^[5]。前人对小麦旗叶光合速率及其与产量的关系进行了大量研究^[5~12]。RuBP 羧化酶 (RuBPcase) 是决定 C₃ 植物光合碳代谢方向和效率的关键酶,其活性高低直接影响光合速率大小^[13]。羧化效率 (CE) 是反映叶肉细胞光合机构活

性的重要指标之一。在一定条件下,CE 可间接反映 RuBPcase 活性^[14]。由于 CE 的测定有其局限性,当水分胁迫或施用脱落酸的情况下叶片气孔不均匀关闭时期间 CO₂ 浓度 (C_i) 的计算偏高会造成 CE 降低的假象;CE 不仅由 RuBPcase 活性决定,而且还受 CO₂ 扩散的液相阻力影响。目前关于 CE 的研究报道尚少,在超高产条件下研究小麦叶片 CO₂ 同化能力的报道则更少,而探讨超高产小麦叶片 CO₂ 同化

*基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (G2000077900) 及国家“十五”重大专项 (2001BA507A02) 部分研究内容。

作者简介: 王之杰 (1971 -) 男,中国农业大学在读博士生,研究方向:遥感在农业上的应用。*通讯作者:郭天财,河南农业大学作物栽培学与耕作学国家级重点学科教授、博士生导师。

Received (收稿日期): 2003-04-17, Accepted (接受日期): 2003-11-01.

能力,对实现小麦超高产栽培提供理论依据和配套技术,丰富小麦栽培生理学内容,具有重要的理论和实践意义。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于1998-2000年度在河南农业大学科教示范园区进行。试验田土壤为壤土,有机质含量1.5%,全N 0.1%,速效N 75 mg·kg⁻¹、P₂O₅ 30 mg·kg⁻¹、K₂O 120 mg·kg⁻¹。按9 000 kg·hm⁻²超高产的养分需求,每hm²底施优质干鸡粪1 875 kg,尿素210 kg,磷酸二铵375 kg,硫酸钾375 kg,硫酸锌30 kg,拔节期、孕穗期分别追施尿素147和88.5 kg·hm⁻²。试验采用二因素随机区组设计:A因素为品种,设多穗型品种豫麦49^[12,15,16](A₁)和大穗型品种周麦13^[15](A₂)两个水平;B因素为密度,设基本苗为75×10⁴株·hm⁻²(B₁),150×10⁴株·hm⁻²(B₂),225×10⁴株·hm⁻²(B₃)和300×10⁴株·hm⁻²(B₄)4个水平,16.7 cm×30.0 cm宽窄行种植,小区面积8 m×2.9 m,12行区,随机排列,重复3次。全生育期灌水3次,5月份防治病虫害3次。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 旗叶净光合速率(Net Photosynthesis Rate, P_n)

于旗叶展开前选取生长一致的旗叶5片挂牌标记,从旗叶展开之日始,每隔10 d用美国CID公司生产的CF-301PS便携式光合测定系统测定旗叶P_n,开放气路,每片叶读取数据2次,5片叶的10次数据平均值为该处理的P_n。测定时环境CO₂浓度320~360 μL L⁻¹,光合有效辐射(PAR)1 100~1 400 μmol·m⁻²·s⁻¹。

1.2.2 旗叶 RuBP 羧化酶(RuBPCase)活性

参照徐增富^[17]方法,在含有NaH¹⁴CO₃的0.5 mL反应介质中加入10 μL酶粗提液,反应45 s后加入2 μmol·L⁻¹HCl终止反应。反应后的混合液于80℃烘干,加入0.5 mL蒸馏水使烘干物充分溶解,再加入4.5 mL闪烁液,用液体闪烁计数器测定放射强度,换算出酶活性。取样时期与P_n测定同步。

1.2.3 旗叶羧化效率(Carboxylation Efficiency, CE)、CO₂响应曲线和CO₂补偿点

开花期和灌浆中期每处理选旗叶5片用英国产CIRAS光合测定系统测定P_n对CO₂(C_i)响应曲线,参照Farquhar等^[18]方法,用P_n-C_i响应曲线的初始斜率计算CE,本文以

CO₂浓度100至600 μL L⁻¹范围内,步幅为100 μL L⁻¹的供试旗叶P_n-C_i响应曲线的斜率为旗叶CE。CO₂在100至600 μL L⁻¹范围内,以100 μL L⁻¹为步幅,600至2 600 μL L⁻¹范围内以200 μL L⁻¹为步幅,读取各CO₂浓度下的P_n,以CO₂浓度为横坐标,P_n为纵坐标,得P_n对CO₂响应曲线。参照蔡时清和许大全方法^[19],以P_n-C_i曲线中C_i小于300 μL L⁻¹范围内的P_n和C_i得模拟方程,当P_n=0时,C_i即为CO₂补偿点。

2 结果与分析

2.1 超高产小麦旗叶一生净光合速率(P_n)的变化

两品种旗叶一生P_n的变化趋势均呈单峰曲线(图1),旗叶展开后,各处理P_n逐渐上升,并于旗叶展开后10 d达最大值,此后逐渐下降。豫麦49旗叶全展后0~10 d各处理P_n差异不大;10 d后B₂处理的P_n一直保持最高,其中4月21日、5月8日和5月25日3d的B₂比B₁、B₃、B₄分别高11.97%、7.39%、2.98%、8.62%、17.22%、9.31%和176.47%、120.81%、120.81%。周麦13旗叶展开之日以B₃处理的P_n最高,其他3处理P_n值接近,旗叶展开后10~20 d内B₂保持最高,4月21日、4月29日两天中,B₂比B₁、B₃、B₄分别高21.68%、8.56%、3.04%和6.7%、12.07%、4.48%,20 d以后B₂处理P_n虽有所降低,但仍保持较高水平,且与P_n最高的B₃处理差异很小。

豫麦49旗叶展开后B₂处理有明显的光合优势,愈到后期优势愈明显。而密度过小的B₁处理P_n较低,后期群体较低,叶面积较小,且高温导致田间蒸发量大,是其可能的原因。对于周麦13来说,B₂处理旗叶的P_n基本上一生都最高,在小麦籽粒形成与灌浆的关键时期,更有利于提供充足的有机物。两品种相比,在旗叶全展0~10 d内,豫麦49各处理旗叶的P_n都高于周麦13相应各处理,而以后周麦13各处理则都高于豫麦49各处理。

2.2 超高产小麦旗叶 RuBPCase 活性

RuBPCase是决定C₃植物光合碳代谢方向和效率的关键酶,其活性的高低直接影响光合速率的大小。由图2可知,两品种RuBPCase活性的变化趋势与P_n一样,也呈单峰曲线,旗叶展开后RuBPCase活性开始上升,并于第10天达最大值,此后逐渐下降。本结果与肖凯等在杂种小麦上的研究结果一致^[13]。

在旗叶一生中,不同处理 RuBPcase 活性的变化动态不同,豫麦 49 B₂ 处理在旗叶展开当天就较高,之后一直保持最高水平,而其余各处理则不稳定,其中 B₁ 处理在旗叶全展当天虽最低,但在第 10~30 天内

较高,之后又最低;B₃ 处理虽在旗叶展开当天最高,但在 10~20 d 内最低,30 d 后又高于 B₁、B₄ 两处理;B₄ 处理在 30 d 后也无优势,但比 B₁ 稍高。

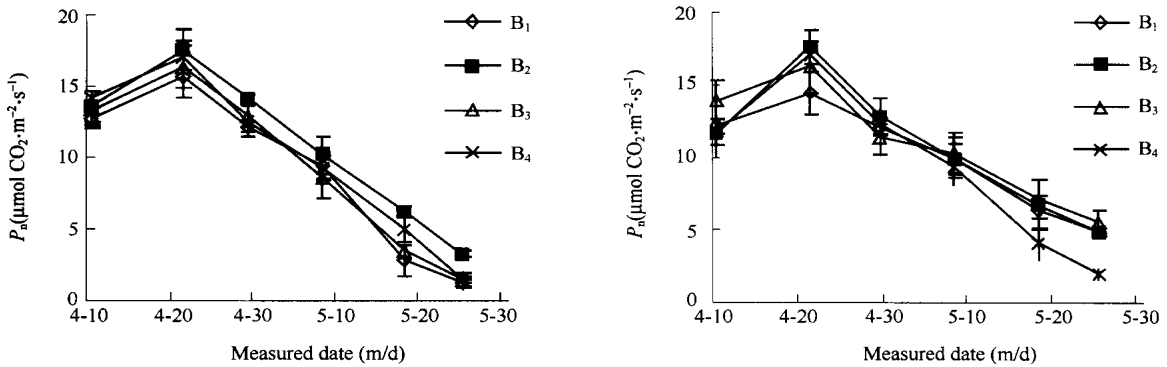


图 1 超高产小麦旗叶光合速率变化趋势

Fig. 1 The change trend of P_n in flag leaf for super-high-yield wheat

左:豫麦 49;右:周麦 13,下同。Left: Yumai 49; right: Zhoumai 13. The same as follows.

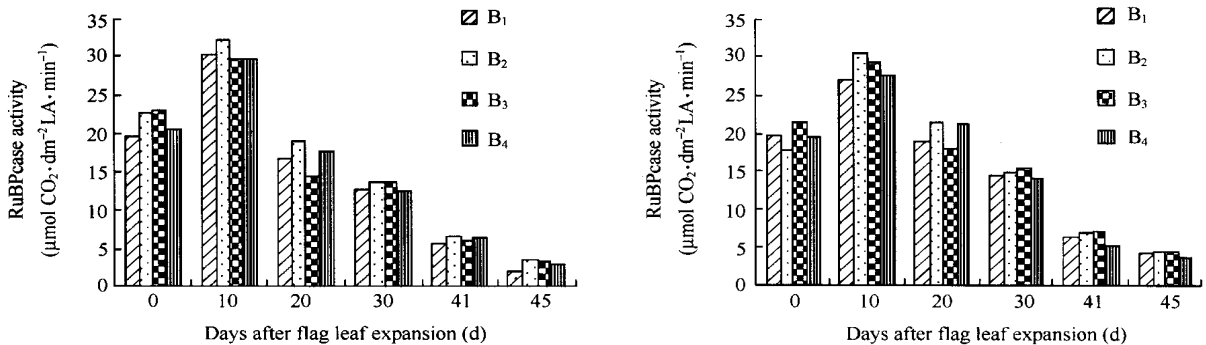


图 2 超高产小麦旗叶 RuBPcase 活性变化趋势

Fig. 2 The change trend of RuBPcase activity in flag leaf for super-high-yield wheat

周麦 13 各处理的 RuBPcase 活性表现,在旗叶展开后 0~20 d 内与 P_n 的变化趋势相似,即旗叶展开当天,B₃ 处理的 RuBPcase 活性最高,10~20 d 内 B₂ 的活性最强。30 d 以后与 P_n 的变化趋势稍有区别,旗叶展开后 30 d B₃ 的活性最强,B₂ 次之,B₁ 第三,B₄ 最弱;40~45 d 之间仍以 B₃ 最强,其他 3 处理的强弱顺序同 30 d 时,但 B₂ 与 B₃ 两处理的差异很小。由此表明,两品种的 B₂ 处理在旗叶展开后均保持较强的 RuBPcase 活性,具有较高的光合潜能。

两品种相比,旗叶展开的 0~10 d 内豫麦 49 各处理的 RuBPcase 活性均高于周麦 13;而 20 d 以后则周麦 13 均高于豫麦 49,进一步说明周麦 13 后期光合能力较强。

2.3 超高产小麦旗叶羧化效率(CE)

羧化效率(CE)是反映叶肉细胞光合机构活性的重要指标之一。从测定结果可以看出(表 1),开花期豫麦 49 各处理 CE 的高低顺序为 B₂>B₃>B₄>B₁,处理间存在极显著差异;周麦 13 各处理 CE 的高低顺序为 B₂>B₃>B₁>B₄,B₂ 与其他 3 处理间差异达极显著水平,B₁ 与 B₄ 间差异不显著。

灌浆中期豫麦 49 CE 的大小顺序为 B₂>B₃>B₄>B₁,各处理比开花期分别下降 84.27%、228.46%、208.09%和 232.74%,处理间差异达极显著水平;周麦 13 CE 的大小顺序为 B₂>B₄>B₃>B₁,各处理比开花期分别下降 28.30%、65.24%、138.01%和 211.00%,处理间差异均达极显著水平。

周麦 13 各处理的 CE 值都高于豫麦 49 相应处理。以上结果表明,生育后期周麦 13 具有比豫麦 49 高

的羧化效率;在 4 个密度处理中,两品种均以 $150 \times 10^4 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 基本苗处理的羧化效率最高。

表 1 开花期和灌浆中期超高产小麦旗叶羧化效率(CE)

Table 1 The carboxylation efficiency in flag leaf at anthesis and middle filling for super-high yield wheat

处理 Treatment	开花期 Anthesis		灌浆中期 Middle filling	
	豫麦 49 Yumai 49	周麦 13 Zhoumai 13	豫麦 49 Yumai 49	周麦 13 Zhoumai 13
B ₁	0.0559 ± 0.0052 D	0.0650 ± 0.0054 cC	0.0168 ± 0.0029 D	0.0209 ± 0.0030 D
B ₂	0.1054 ± 0.0081 A	0.0825 ± 0.0051 aA	0.0572 ± 0.0056 A	0.0643 ± 0.0045 A
B ₃	0.0854 ± 0.0061 B	0.0764 ± 0.0070 bB	0.0260 ± 0.0058 B	0.0321 ± 0.0052 B
B ₄	0.0724 ± 0.0085 C	0.0618 ± 0.0075 cC	0.0235 ± 0.0064 C	0.0374 ± 0.0058 C

2.4 超高产小麦 P_n 对 CO₂ 的响应

由各处理 P_n-CO₂ 响应曲线可以看出(图 3、图 4),开花期豫麦 49 各处理在供试 CO₂ 浓度下均达饱和

和状态,利用响应曲线方程模拟计算,B₁ 处理 CO₂ 饱和点仅为 861.7 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$,饱和时其 P_n 值较低,B₂、B₃ 和 B₄ 处理的饱和点分别为 2 270.4、2 141.7 和 2 004.7 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 。然而同期周麦 13 在供试 CO₂ 浓度下均未达饱和状态。

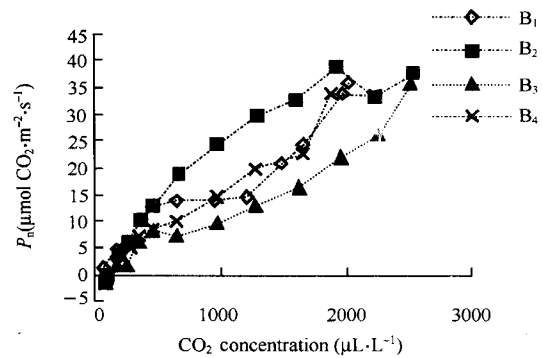
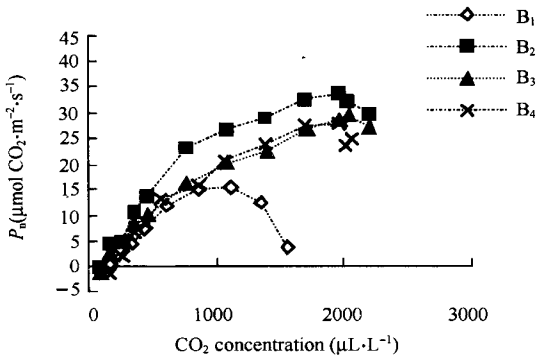


图 3 开花期超高产小麦 P_n-CO₂ 响应曲线

Fig. 3 The P_n-CO₂ responses curve of super-high yield winter wheat at anthesis

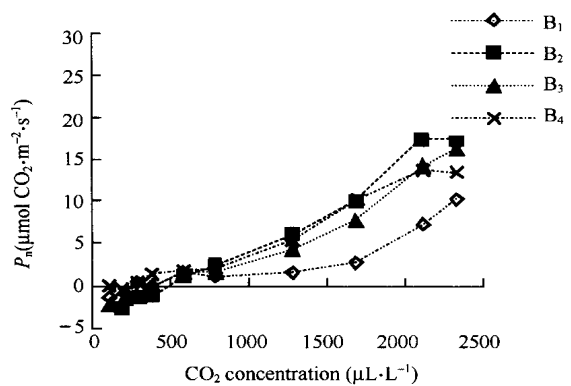
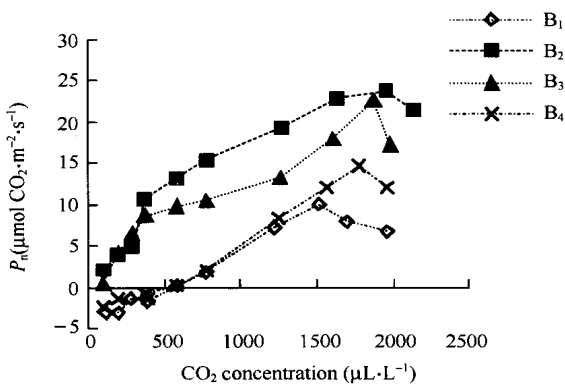


图 4 灌浆中期超高产小麦 P_n-CO₂ 响应曲线

Fig. 4 The P_n-CO₂ responses curve of super-high yield wheat at middle filling

灌浆中期,豫麦 49 所有处理在供试 CO₂ 浓度下也达饱和状态,利用响应曲线方程模拟得 B₁ 处理 CO₂ 饱和点为 1 825.2 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$,B₂、B₃ 和 B₄ 饱和点分别为 1 962.3、1 769.5 和 1 754.9 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$,以 B₂ 处理饱和点最高,除 B₁ 外,各处理饱和点均较开花期有

所降低。同期周麦 13 只有 B₄ 处理达到了饱和状态,其 CO₂ 饱和点为 2 327.7 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$,明显高于豫麦 49,其余 3 处理在供试 CO₂ 浓度下均未达饱和状态。显然,周麦 13 叶片光合作用需要较高浓度的 CO₂。

从表 2 看出,冬小麦旗叶 CO₂ 补偿点在灌浆中

期高于开花期,不同品种中豫麦 49 高于周麦 13,不同处理中,豫麦 49 B₁、B₄ 高于 B₂、B₃,而周麦 13 B₁、B₃ 高于 B₂、B₄。

表 2 开花期和灌浆中期超高产小麦旗叶 CO₂ 补偿点

Table 2 The CO₂ compensation point in flag leaf at anthesis and middle filling for super-high yield wheat (Unit: $\mu\text{L L}^{-1}$)

处理 Treatment	开花期 Anthesis		灌浆中期 Middle filling	
	豫麦 49 Yumai 49	周麦 13 Zoumai 13	豫麦 49 Yumai 49	周麦 13 Zoumai 13
B ₁	154.77 ±28.54 a	98.59 ±7.96 a	313.31 ±41.21 a	258.39 ±50.07 a
B ₂	86.89 ±14.41 b	93.67 ±8.77 a	172.96 ±11.97 c	204.17 ±27.17 a
B ₃	104.24 ±26.99 b	104.83 ±26.07 a	212.41 ±41.84 b	264.53 ±19.06 a
B ₄	110.20 ±19.75 b	102.89 ±13.94 a	298.90 ±19.99 a	187.22 ±29.79 a

3 结论与讨论

在超高产条件下,两种不同穗型冬小麦品种旗叶光合速率变化趋势一致。但不同密度处理间存在差异,密度过大和过小均表现旗叶光合无优势,光合速率、RuBPCase 活性、羧化效率、CO₂ 饱和点降低,CO₂ 补偿点升高。两品种均以 B₂ 处理(基本苗为 150 × 10⁴ 株 hm⁻²)的光合速率高于其他处理,其叶片 RuBPCase 活性、羧化效率高、同化 CO₂ 的能力较强。两品种在 CO₂ 同化方面存在区别,旗叶展开的最初一段时间里,豫麦 49 光合速率、RuBPCase 活性、羧化效率均高于周麦 13,而旗叶展开 20 d 后周麦 13 优势明显。豫麦 49 CO₂ 饱和点低于周麦 13,CO₂ 补偿点高则高于周麦 13。以上结果表明周麦 13 具有较强的 CO₂ 同化能力。在较低和较高的 CO₂ 浓度下周麦 13 均具较高的光合速率和羧化能力,对于其后期有机物的积累具有重要意义。韩凤山、赵明(1987)、上官周平(1997)指出,小麦叶片光合作用在大气 CO₂ 浓度下并未充分发挥其潜势,CO₂ 供应不足是影响光合作用的重要因子之一^[20,21]。从本研究结果看,大气 CO₂ 浓度对于多穗型的豫麦 49 来说能够较好地满足其碳同化的需求,但对于周麦 13 相对其同化能力是不足的,由此可推断大气 CO₂ 浓度是限制周麦 13 产量的一个主要因素。

于振文等^[22]对不同密度冬小麦开花后旗叶 P_n 的研究表明,旗叶 P_n 随密度增加而下降,灌浆后期(开花后 25 d)下降的幅度明显大于灌浆初期(开花后 18 d)。本研究对两品种不同密度处理的旗叶进行 6 次测定的结果表明,旗叶 P_n 没有明显呈现随密度增大而下降的趋势,两品种密度最小处理和密度最大处理的 P_n 都很低,同时测定的 RuBPCase 活性、羧化效率等也具有类似的情况。以上结果的出现可能与小麦生育后期的高温干旱天气有关。过低密度

处理的个体发育虽好,但群体数量明显较低,因而田间蒸腾量大,水分亏缺严重,影响了个体优势的发挥;而过高密度处理,因其群体较大,个体发育欠佳,其旗叶 CO₂ 同化能力也无优势。

本研究结果表明,不同类型品种实现超高产的水肥运筹措施不同,对于多穗型品种豫麦 49,其自身分蘖能力比较强,但其后期叶片衰老较快,在合理密植创造理想群体的条件下,应注意后期的肥水供应,以延长功能叶的功能期,提高粒重夺取超高产;对于大穗型品种周麦 13,由于其分蘖成穗率偏低,肥水运筹应重在前期,以保证其合理群体,协调群体矛盾,发挥其个体优势实现超高产。

References

- [1] Hu T-J (胡廷积), Yang Y-G (杨永光), Ma Y-X (马元喜). Wheat Ecology and Its Production Technology (小麦生态与生产技术). Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1986 (in Chinese)
- [2] Wang Q-C (王庆成), Wang Z-X (王忠孝). The Progress of Study on Physiology of Crop High Yield and High Benefit (作物高产高效生理学研究进展). Beijing: Science Press, 1994. 25 - 34 (in Chinese)
- [3] Jin S-B (金善宝). China Wheat Science (中国小麦学). Beijing: China Agriculture Press, 1996. 162 - 166 (in Chinese)
- [4] Guo T-C (郭天财), Peng W-B (彭文博), Wang X-Y (王向阳), Zhao H-J (赵会杰), Chen C-H (陈长海), Cui J-M (崔金梅), Zhu Y-J (朱云集). Reason analysis and regulation of green wilting of wheat during later seed filling period. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 1997, 23 (4): 474 - 481
- [5] Xu H-Y (徐恒永), Zhao J-S (赵君实). Canopy photosynthesis capacity and the contribution from different organs in high-yielding winter wheat. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 1995, 21 (2): 204 - 209
- [6] Osman A M, Milthorpe F L. Photosynthesis of wheat leaves in relation to age, luminance and nutrient supply. *Photosynthetica*, 1971, 5: 61 - 70
- [7] Natre L. Influence of mineral nutrition on photosynthesis and the use of assimilation. In: Cooper J P ed. *Photosynthesis and Productivity in Different Environments*. Cambridge University Press. 1975. 537 - 555
- [8] Johnson R C, Witters E, Gila A J. Daily patterns of apparent photosyn-

- thesis and evapo transpiration in a developing winter wheat. *Agronomy Journal*, 1981, **73**(3): 414 - 418
- [9] Xuan YN(宣亚南), Wu Y Y(吴源英), Jia GF(贾高峰), Yan J-Y(颜景义), Zhang R-X(张荣铎). Nitrogen regulation on photosynthetic traits after flag leaf expansion and its relation to grain weight per ear in wheat. *Triticum aestivum L. Journal of Nanjing Agricultural University* (南京农业大学学报), 1996, **19**(4): 5 - 9
- [10] Shang-Guan ZP(上官周平). Regulation of nitrogen nutrition on photosynthetic characteristic of winter wheat on dry land. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 1997, **3**(2): 103 - 109
- [11] Xiao K(肖凯), Zhang S-H(张树华), Zou D-H(邹定辉). The effects of different nitrogen nutrition forms on photosynthetic characteristics in wheat leaves. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2000, **26**(1): 53 - 58
- [12] Wang ZJ(王之杰), Guo T-C(郭天财), Wang H-C(王化岑), Wang Y-H(王永华). Effect of planting density on photosynthetic characteristics and grain yield of super-high-yield winter wheat at late growth stages. *Journal of Triticeae Crops* (麦类作物学报), 2001, **21**(3): 64 - 67
- [13] Xiao K(肖凯), Zhang R-X(张荣铎), Zou D-H(邹定辉), Qian W-P(钱维朴). Studies on Rubisco characteristics during flag leaf aging in hybrid wheat and its parents. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 1998, **40**(4): 343 - 348
- [14] Evans R J, Seeman J R. Differences between wheat genotypes in specific activity of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase and the relationship to photosynthesis. *Plant Physiol*, 1984, **74**: 759
- [15] Guo T-C(郭天财), Wang ZJ(王之杰), Hu T-J(胡廷积), Zhu Y-J(朱云集), Wang C-Y(王晨阳), Wang H-C(王化岑), Wang Y-H(王永华). Study on canopy apparent photosynthesis characteristics and grain yield traits of two winter wheat cultivars with different spike type. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2001, **27**(5): 633 - 639
- [16] Kang G-Z(康国章), Wang Y-H(王永华), Guo T-C(郭天财), Zhu Y-J(朱云集). Effects of nitrogen application on photosynthetic characteristics and yield of super-high-yielding wheat in the late growing and developing period. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2003, **29**(1): 82 - 86
- [17] Xu Z-F(徐增富), Fang Z-W(方志伟), Zhang R-X(张荣铎). Photosynthetic rate in *Triticum* in relation to Ribulose Bisphosphate carboxylase (RuBPcase) and leaf conductance. *Journal of Nanjing Agricultural University* (南京农业大学学报), 1990, **13**(4增): 5 - 11
- [18] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annu Rev Plant Physiol*, 1982, **33**: 317 - 345
- [19] Cai S-Q(蔡时青), Xu D-Q(许大全). Relationship between the compensation point and photorespiration in soybean leaves. *Acta Phytobiologica Sinica* (植物生理学报), 2000, **26**(6): 545 - 550
- [20] Han F-S(韩凤山), Zhao M(赵明), Zhao S-S(赵松山). Study on the cause for photosynthetic at the middle day (1). *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 1987, **13**(4): 329 - 336
- [21] Shang-Guan ZP(上官周平). The response of photosynthesis to different kind of water deficits in wheat leaves. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica* (西北农业学报), 1997, **6**(4): 38 - 41
- [22] Yu Z-W(于振文), Yue S-S(岳寿松), Shen C-G(沈成国), Yu S-L(余松烈), Egli D B, van Sanford D V. Effect of different density on leaf senescence after anthesis and kernel weight in winter wheat. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 1995, **21**(4): 412 - 418