

施肥对华北寒旱区甜菜生长后期 光合特性及产量的影响

武东霞, 刘玉华, 张立峰, 张君君, 张 莉

(1. 农业部 张北农业资源与生态环境重点野外科学观测试验站, 河北 张北 076450; 2. 河北农业大学 农学院, 河北 保定 071000)

摘 要:以华北寒旱区旱作甜菜为试材, 采用 Li-6400 光合测定系统, 监测了施肥对甜菜糖分积累期与收获期的光合生理变化、甜菜产量、甜菜品质的影响, 以期明确施肥对糖用甜菜光合作用的影响, 特别是其产量形成期的光合效应特征。结果表明: 与不施肥相比, 收获期施肥甜菜的日光合积累量(P_D)、日蒸腾积累量(T_D)、日均水分利用效率(WUE_D)分别提高了 23.8%、18.1%、4.7%, 减缓了午间光合作用的逆境胁迫; 施肥甜菜光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)、表观量子效率(AQY)分别提高了 30.0%、42.8%、13.9%, 增强了甜菜对光辐射能的利用潜力; 经济产量提高 29.4%, 糖产量提高 21.5%。表明施肥是华北寒旱区提高甜菜抗逆性、维持光合高效率与发挥甜菜光合生产潜力的关键技术。

关键词:净光合速率; 气孔限制分析; 光响应曲线; 甜菜

中图分类号:S 566.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)01-0174-05

甜菜(*Beta vulgaris*)属藜科(Familia Chenopodiaceae)甜菜属(*Genus Beta*)2 a 生草本植物, 性喜温凉, 对寒旱环境有较好的生态适应性。作为制糖工业原料, 甜菜种植面积约占世界糖料作物的 48%, 仅次于甘蔗的种植面积。甜菜糖分储于块根之中, 生育后期的光合作用成为影响其产量的重要因素^[1]。除气候因素直接决定甜菜生产力外, 土壤营养是影响甜菜光合生产的主要方面。越鹏等^[2]研究表明, 施氮水平为 0~120 kg/hm² 时, 甜菜光合速率随施氮量增加而提高, 块根产量与施氮量呈显著正相关, 与含糖率呈负相关。还有些学者研究表明施用磷肥、钾肥对甜菜单叶及群体光合速率具有显著的促进作用^[3-5]。于海彬等^[6]进一步分析了氮磷配施对甜菜光合效应的影响, 结果表明单一施磷 450 kg/hm² 较无肥区光合速率降低了 15.9%, 而施氮 180 kg/hm² 并配施磷 450 kg/hm² 时, 甜菜光合速率则较不施肥提高了 46.8%。在寒旱环境下, 施肥成为提高甜菜抗逆性与生产质量的重要途径。

华北寒旱区受其地理环境的影响, 区域低温少雨, 无霜期短, 一般 9 月初开始进入霜期, 传统作物如燕麦、马铃薯、亚麻等在 9 月的初霜后收获, 无法利用霜后丰富的光热环境^[7], 从而造成资源浪费。然而, 以营养体为收获对象的喜凉作物甜菜, 9 月份进入生育后期, 糖分积累最快, 含糖量约占整个生育期的 18.9%~19.6%, 块根日增重(鲜重)约为 3.07~3.94 g/株, 占整个生育期的 12.6%~20.5%^[8-9]。霜后光热资源的高效利用成为促进甜菜增产与优质的关键。综上, 该试验针对华北寒旱区 9 月份光照资源充足、甜菜生产潜力大的生产背景, 系统研究施肥对甜菜后期光合特性及产量、品质的影响, 以期为区域甜菜稳产高产、提高光热资源利用率及合理施肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2012 年在华北寒旱区的农业部张北农业资源与生态环境重点野外科学观测试验站进行。试验站位于北纬 41°09', 东经 114°42', 海拔 1 420 m, 年降水量 398 mm, 日照时数为 2 907.9 h, 光合有效辐射为 2 896.8 MJ/m², ≥0℃积温 2 300~2 600℃, ≥10℃有效积温 1 700~1 970℃, 最热月 7 月的平均气温 18~19℃, 最冷月 1 月平均气温为 -16~-19℃, 无霜期 107 d。试验地为砂质栗钙土, 土壤 pH 值为 7.32。

1.2 试验材料

供试甜菜品种为‘KWH-6231’。

第一作者简介:武东霞(1986-), 女, 河北磁县人, 硕士研究生, 研究方向为集约农作制度。E-mail: wudongxia0825@126.com.

责任作者:刘玉华(1964-), 男, 河北迁西人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为集约农作制度与农村区域发展。E-mail: liuyuhua@hebau.edu.cn.

基金项目:农业部公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(201003053)。

收稿日期:2013-09-23

1.3 试验方法

施肥处理为尿素(N 46%)和磷酸二铵(N 18%、 P_2O_5 46%)各 300 kg/hm²,以不施肥为对照(CK),采用常规田间管理。2 组处理分别在甜菜糖分积累期(9 月 7 日)与收获期(10 月 6 日),晴朗无云的气象条件下,选择大小和长势一致的甜菜 5 株,顶部第 2~3 片朝向一致的完全展开叶进行光合测定,5 次重复。

1.4 项目测定

1.4.1 光合日变化的测定 采用 Li-6400 便携式光合仪测定甜菜叶片的净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)、胞间 CO₂ 浓度(Ci)。自 7:00~18:00,每 1 h 测定 1 次。根据公式计算出气孔限制值(Ls)、日光合积累量(P_D)、日蒸腾积累量(T_D)与水分利用效率(WUE),并由 P_D、T_D 求得日水分利用效率(WUE_D)。公式分别为: $Ls = 1 - Ci/Ca$; $P_D = \Delta t / 2 \sum (Pn_i + Pn_{i+1})$; $T_D = \Delta t / 2 \sum (Tr_i + Tr_{i+1})$; $WUE = Pn / Tr$; $WUE_D = P_D / T_D$; 其中, Ca 为空气中 CO₂ 浓度, Pn_i、Pn_{i+1} 为相邻 2 次测定的叶片净光合速率, Tr_i、Tr_{i+1} 为相邻 2 次测定的叶片蒸腾速率, Δt 为测定时间间隔,取 3 600 s。

1.4.2 光响应特征测定 上午 9:00~11:00,采用 Li-6400 光合仪,利用内置 LED 人工光源测定光响应特征,根据光合-光强(Pn-PAR)回归方程求得光补偿点(LCP)、

光饱和点(LSP);将 0~200 μmol·m⁻²·s⁻¹ 低光强下的 Pn-PAR 直线回归求得斜率,即表观量子效率(AQY)。

1.4.3 产量与含糖率测定 试验处理各小区实收测定甜菜产量。采用锤度计测定不同处理甜菜的可溶性固形物含量,含糖率(%)=可溶性固形物含量(%)×0.82。

1.5 数据分析

数据分析和绘图采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 进行分析。

2 结果与分析

2.1 光合环境因子日变化

由图 1 可知,华北寒旱区甜菜糖分积累期(9 月 7 日)与收获期(10 月 6 日)大气温度(Ta)与光合有效辐射(PAR)均呈单峰曲线。糖分积累期 Ta 在 15:00 达峰值为 29.26℃, PAR 在 14:00 达峰值为 2 017.998 μmol·m⁻²·s⁻¹。收获期 Ta 在 13:00 达峰值为 23.38℃, PAR 在 11:00 达峰值为 2 035.657 μmol·m⁻²·s⁻¹。糖分积累期与收获期 7:00~10:00 Ta 相差不大,11:00~18:00 温差则逐渐拉大。大气湿度(RH)趋势与光强、温度相反,收获期较糖分积累期具有较低的温度与更高的光合辐射。甜菜在华北寒旱区生长季后期的光合效能对农田光温资源利用具有显著的影响。

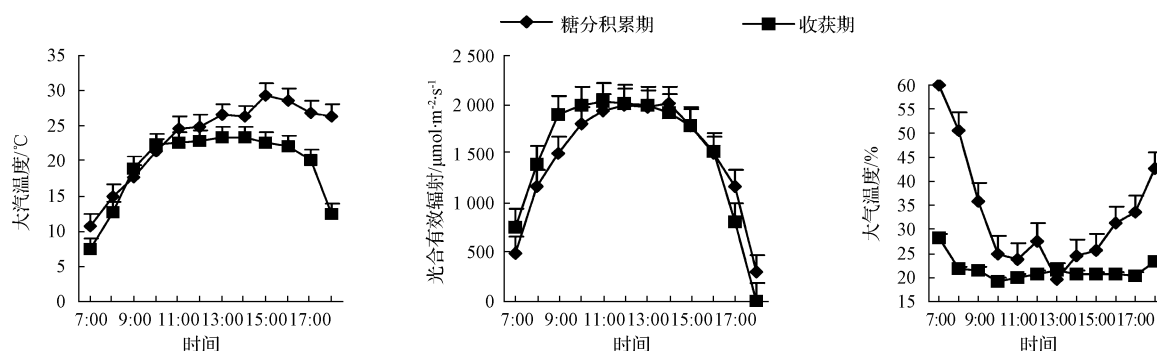


图 1 田间环境因子的日变化

Fig. 1 Diurnal changes of environmental factors in the field

2.2 施肥对甜菜光合生理参数日变化的影响

2.2.1 施肥对甜菜净光合速率(Pn)和蒸腾速率(Tr)日变化的影响 由图 2 可知,糖分积累期施肥与不施肥甜菜 Pn 日变化趋势相似,均呈“双峰”曲线,峰值均出现在 11:00 和 16:00 左右,施肥甜菜的峰值分别为 29.69、22.36 μmol·m⁻²·s⁻¹,分别比不施肥提高了 28.6%、29.6%。收获期施肥甜菜 Pn 日变化呈特殊的“三峰”曲线,峰值出现在 10:00、13:00 和 15:00,分别为 17.70、18.22、19.53 μmol·m⁻²·s⁻¹,不施肥甜菜仍表现为 2 个峰分别在 10:00 和 15:00,峰值分别为 15.90、16.43 μmol·m⁻²·s⁻¹,且在 13:00 出现了 1 个明显的谷值,谷值仅为 10.41 μmol·m⁻²·s⁻¹。与不施肥相比,施肥糖分积累期甜菜日光合积累量

(P_D)高出 0.21 mol·m⁻²,提高了 31.7%,收获期甜菜 P_D高出 0.10 mol·m⁻²,提高了 23.8%。施肥明显提高了甜菜光合积累量,成为高效利用区域光温资源的有效技术。由图 2、3 可知,糖分积累期施肥和不施肥甜菜的蒸腾速率(Tr)日变化曲线与甜菜 Pn 变化趋势一致,均为“双峰”曲线,施肥甜菜峰值出现在 11:00 和 15:00,分别为 8.30、7.26 mmol·m⁻²·s⁻¹,分别较不施肥甜菜提高 22.6%、4.0%。收获期施肥甜菜 Tr 的日变化曲线与甜菜 Pn 变化趋势一致,呈“三峰”曲线,峰值分别为 5.13、5.48、5.40 mmol·m⁻²·s⁻¹;不施肥甜菜呈“双峰”曲线,峰值分别为 5.13、4.17 mmol·m⁻²·s⁻¹,在 13:00 出现明显的谷值 2.96 mmol·m⁻²·s⁻¹。施肥较不施肥甜菜糖分积累期日蒸腾积累量(T_D)高出

23.85 mol/m²,提高了 11.9%,收获期高出 22.5 mol/m²,提高了 18.1%。试验结果表明施肥甜菜较高的蒸腾积累量为光合生产奠定了基础。

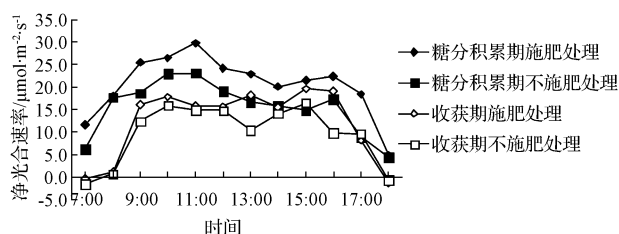


图2 糖分积累期与收获期净光合速率日变化

Fig. 2 Diurnal changes of Pn during sugar accumulation period and harvest period

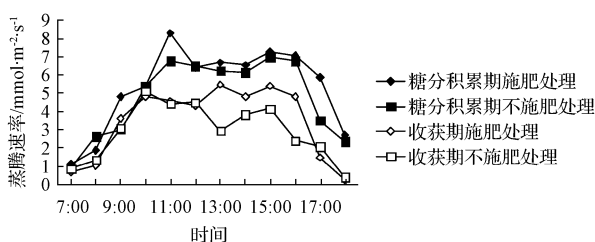


图3 糖分积累期与收获期蒸腾速率日变化

Fig. 3 Diurnal changes of Tr during sugar accumulation period and harvest period

2.2.2 水分利用效率(WUE) 由图4可以看出,糖分积累期甜菜 WUE 日变化趋势呈“L”型。施肥与不施肥甜菜 WUE 均在 7:00 出现最大值,分别为 10.32、7.09 μmol/mol;施肥甜菜日水分利用效率(WUE_D)为

3.80 μmol/mol,较不施肥提高了 17.6%。收获期甜菜 WUE 日变化趋势呈“M”型。施肥与不施肥甜菜均在 17:00 出现最大值,分别为 5.44、4.58 μmol/mol;施肥甜菜 WUE_D为 3.56 μmol/mol 较不施肥提高了 4.7%。试验结果表明施肥成为甜菜水分高效利用的光合生理基础。

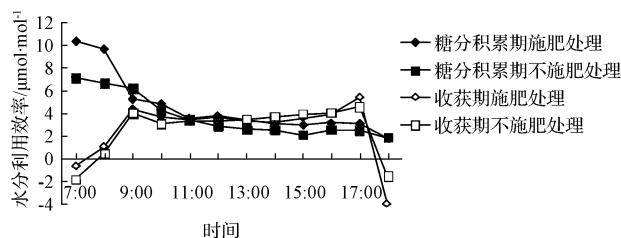


图4 糖分积累期与收获期水分利用效率日变化

Fig. 4 Diurnal changes of WUE during sugar accumulation period and harvest period

2.3 施肥对甜菜叶片光合生理参数日变化的影响

由图5可以看出,糖分积累期在 9:00~11:00 和 13:00~17:00,施肥处理的 Gs、Ls 比对照(CK)高,但 Ci 比对照低,这表明施肥不仅促进了气孔开放,而且主要从非气孔因素方面促进了光合作用。收获期 7:00~9:00 施肥相对于不施肥,Gs 提高、Ci 降低、Ls 提高,表明施肥从气孔开放与非气孔因素 2 方面促进了光合作用,与不施肥相比,施肥在 10:00~11:00 及 13:00~16:00,提高了 Gs、Ci,降低了 Ls,表明施肥的 Pn 大于不施肥的主要原因是施肥促进了气孔开放。该试验结果表明,施肥不仅增大了气孔导度,还增加了叶肉细胞的光合能力,从而促进了光合作用。

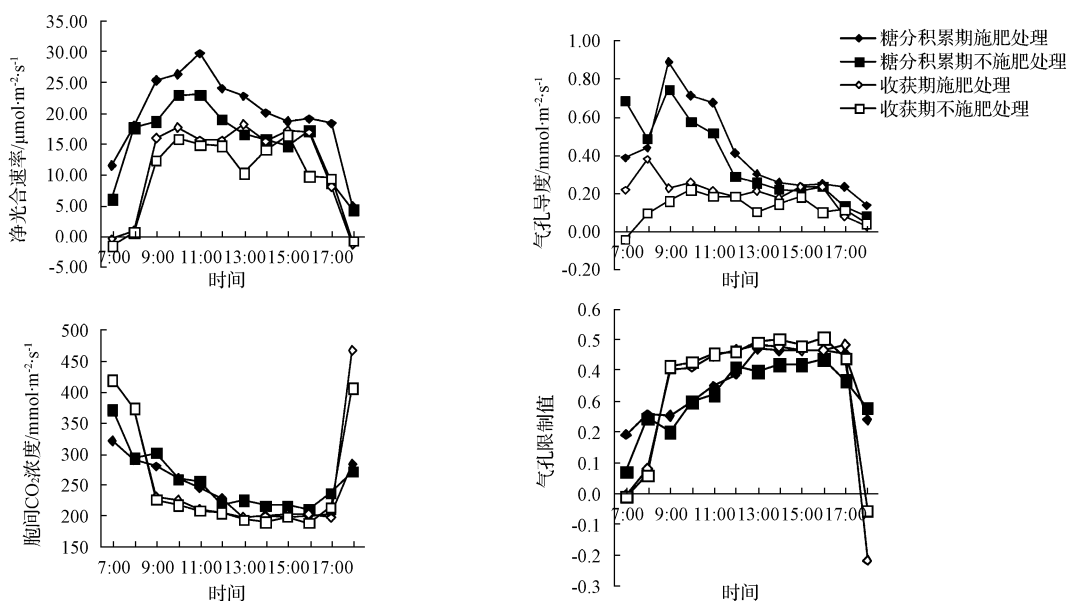


图5 施肥对甜菜叶片净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度及气孔限制值的影响

Fig. 5 Effects of fertilization on Pn, Gs, Ci and Ls of sugar beet leaf

2.4 施肥对光响应曲线及表观量子效率的影响

由图 6 可知,在不同时期甜菜施肥与不施肥的叶片 Pn-PAR 的响应均表现为二次曲线特征。由表 1 可知,糖分积累期施肥甜菜 LSP 为 $1\,971.7\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,较不施肥提高了 12.7%;LCP 为 $61.7\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,较不施肥提高了 15.8%;AQY 和 Amax 分别较不施肥提高了 4.3%和 21.2%。收获期施肥甜菜 LSP 较不施

肥提高了 30.0%,LCP 提高了 42.8%,AQY 与 Amax 分别提高了 13.9%和 41.9%。

分析表明,施肥后 LSP、LCP、AQY 都有所提高。施肥甜菜较不施肥甜菜具有更高的 LSP 和 AQY,这种强光下的高光合速率和弱光下的高量子效率才是群体高光能利用率的重要前提,表明施肥提高了甜菜对光辐射能的利用潜力,为其高产奠定了生理基础。

表 1 不同时期施肥与不施肥甜菜的光补偿点、光饱和点和表观量子效率

Table 1 Light compensation point, light saturation point and apparent quantum yield in different growth period of fertilized and unfertilized sugar beet

| 时期 Period | 处理 Treatment | LCP $/\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ | LSP $/\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ | 表观量子效率 AQY | 最大净光合速率 Amax/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ |
|--------------|-----------------|---|---|-----------------|--|
| 糖分积累期 | 施肥 | 61.7 ± 3.6 | $1\,971.7\pm17.7$ | 0.048 ± 0.003 | 32.88 ± 0.82 |
| | 不施肥 | 53.3 ± 7.6 | $1\,750.0\pm66.8$ | 0.046 ± 0.002 | 27.13 ± 0.26 |
| 收获期 | 施肥 | 66.7 ± 5.4 | $1\,665.0\pm93.5$ | 0.041 ± 0.005 | 23.60 ± 0.93 |
| | 不施肥 | 46.7 ± 2.7 | $1\,280.0\pm82.1$ | 0.036 ± 0.002 | 16.63 ± 0.41 |

注:表中数据为平均值±标准差(n=3)。Note: Dates are mean ± SE(n=3).

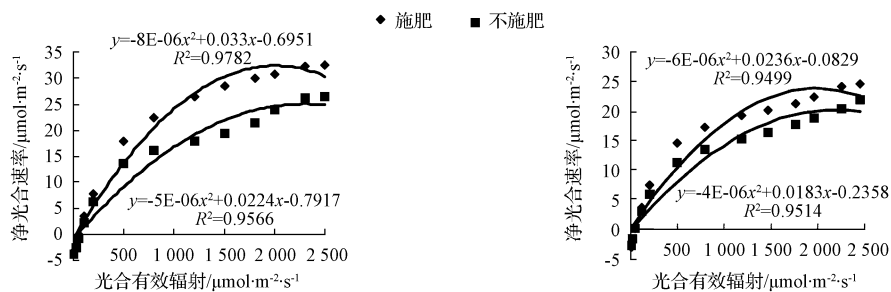


图 6 糖分积累期与收获期 Pn-PAR 响应曲线

Fig. 6 Pn-PAR light response curve in sugar accumulation period and harvest period

2.5 施肥对甜菜产量及含糖率的影响

由表 2 可知,施肥甜菜的生物产量与经济产量分别为 $53\,661.90/41\,476.97\ \text{kg}/\text{hm}^2$,较不施肥甜菜均提高了 29.4%;施肥甜菜的含糖率较不施肥处理降低了 1.2 个百分点,糖产量 $6\,986.78\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 较不施肥提高了 21.5%。施肥能够极显著提高甜菜的经济产量和糖产量。

表 2 施肥与不施肥甜菜产量及含糖率

Table 2 Yield and sugar of fertilized and unfertilized sugar beet

| 处理 Treatment | 生物产量 Biological yield $/\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ | 经济产量 Economic yield $/\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ | 含糖率 Sugar /% | 糖产量 Comprehensive economic yield/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ |
|-----------------|---|---|--------------------|--|
| 施肥 | 53 661.90 aA | 37 563.33 aA | 18.6 bB | 6 986.78 aA |
| 不施肥 | 41 476.97 bB | 29 033.88 bB | 19.8 aA | 5 748.71 bB |

注:不同小写字母代表 0.05 水平下差异显著,不同大写字母代表 0.01 水平下差异显著。

Note: Different small letters within the same column meant significant difference at 0.05 level, different big letters within the same column meant significant difference at 0.01 level.

3 讨论与结论

植物光合生产力受到光照强度、叶温、 CO_2 浓度、空气湿度与土壤营养等环境生态因素和叶肉细胞活性、水养存储与传导供应等植物生理因素的综合影响^[10-12]。翁晓燕等^[13]研究表明空气湿度对光合速率影响的本质不仅是影响气孔开度,还直接影响叶肉细胞内光合关键酶的活力,进而影响净光合速率。薛义霞等^[14]试验表

明,高温条件下,提高空气湿度可以提高温室番茄的净光合速率与蒸腾速率。许大全^[15]认为晴天中午的高温低湿是造成光合“午休”的主要原因,其中较低的空气湿度被认为是引起光合“午休”的重要生态因子。这说明高温低湿降低植物叶片光合生理功能。华北寒旱区气候干旱与高光合辐射引起的高温低湿条件对甜菜的生长产生不利影响,该试验中施肥对于抵抗外界高温低湿引起的叶片内外水分差异拉大导致的生态耗水及生理耗水对植物造成的伤害具有保护作用,有效提高了叶片 Pn 和 WUE,缓解了“午休”现象。而对于施肥甜菜在收获期出现的 Pn“三峰”曲线是否为本质属性,还有待进一步研究。

调控土壤环境因素以适应植物需求,对植物光合过程具有直接的影响^[16-17]。一些学者研究认为,合理的氮、磷、钾营养在一定程度上可改善作物的水分状况,提高作物的渗透调节和气孔调节能力,而提高光合速率^[18-21]。该试验中施肥促进了甜菜叶片气孔开放,提高了叶肉细胞活性,增强了甜菜蒸腾耗水能力、减缓午间光合作用的逆境胁迫,以及对产量与品质所产生的积极效应,证实了施肥对寒旱区甜菜生产的重要作用。

表观量子效率(AQY)与 Pn-PAR 响应曲线反映了植物对光辐射能的同化能力^[22]。该试验中,施肥较不施肥处理 AQY 显著提高,并 LSP、LCP 与 Amax 同步增

长,表明施肥具有提高寒旱区甜菜对强光利用,与拮抗午间的强光高温胁迫的生理效能,这与喜温性植物或高产型作物品种对光温资源的高效利用机制相似^[23-25]。施肥维持光合效率与拓展光合潜力的效能,对于开发寒旱区甜菜生产力具有重要的作用。

施肥作为重要的农作措施之一,显著提高了华北寒旱区甜菜糖分积累期与收获期的光合速率(P_n),增强了甜菜耗水能力、明显减缓了午间光合作用的逆境胁迫,WUE相应增长。施肥较不施肥处理,AQY、LSP、Amax、LCP增高。施肥较不施肥处理,甜菜产量提高29.4%,糖产量提高21.5%。

参考文献

- [1] 曲文章. 甜菜生理学[M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1990:146-240.
- [2] 越鹏,李彩凤,陈业婷,等. 氮素水平对甜菜功能叶片光合特性的影响[J]. 核农学报,2010,24(5):1080-1085.
- [3] 曲文章,耿立清,高妙真. 磷素水平对甜菜光合作用的影响[J]. 中国甜菜糖业,2001(3):9-11.
- [4] 曲扬,丁伟,曲文章. 钾对甜菜光合作用的影响[J]. 中国甜菜糖业,2007(4):1-4,14.
- [5] 丁伟,曲文章. 钾营养对甜菜光合速率及同化产物运转的影响[J]. 东北农业大学学报,1999,30(3):214-220.
- [6] 于海彬,周芹,刘娜,等. 不同氮磷营养水平对甜菜叶片光合速率的影响[J]. 中国糖料,2001(3):19-21.
- [7] 王殿武,王立秋,牛瑞明. 高寒半干旱区农牧增产技术[M]. 北京:地震出版社,1998(2):134,151.
- [8] 曲文章,高妙真,曲扬,等. 不同积温带甜菜产量形成与糖分积累规律的研究[J]. 中国甜菜糖业,1997(5):7-12.
- [9] 曲文章. 甜菜个体发育规律的研究[J]. 中国农业科学,1988,21(2):64-72.
- [10] 韩忠明,王云贺,韩梅,等. 药用植物防风(*Saposhnikovia divaricata*)

不同时期光合作用特性比较[J]. 生态学报,2009,29(3):1382-1390.

- [11] 李六林,杨佩芳,田彩芳,等. 树莓光合特性的研究[J]. 园艺学报,2003,30(3):314-316.
- [12] 陶俊,陈鹏,余旭东. 银杏光合特性的研究[J]. 园艺学报,1999,26(3):157-160.
- [13] 翁晓燕,蒋德安. 水稻抽穗后剑叶衰老过程中光合关键酶的基因表达[J]. 植物生理与分子生物学报,2002,28(4):311-316.
- [14] 薛义霞,李亚灵,温祥珍. 空气湿度对高温下番茄光合作用及坐果率的影响[J]. 园艺学报,2010,37(3):397-404.
- [15] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海:上海科学技术出版社,2002:73,86.
- [16] 刘红云,梁宗锁,舒志明,等. 施肥对丹参叶片光合光响应特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报,2011,39(6):110-114,121.
- [17] 孙静克,宗良纲,刘卫星,等. 施肥措施对铅污染土壤中雪里蕻光合特性的影响[J]. 西北植物学报,2007,27(4):755-760.
- [18] 陈洪国. 氮磷钾肥处理对桂花生长、花量及光合作用的影响[J]. 园艺学报,2009,36(6):843-848.
- [19] 李玲,王会肖,张玉铭,等. 施肥对小麦旗叶光合特性的影响研究[J]. 中国生态农业学报,2011,19(6):1268-1271.
- [20] 张岁岐,李秧秧. 施肥促进作物水分利用机理及对产量影响的研究[J]. 水土保持研究,1996,3(1):185-191.
- [21] 张岁岐,山仑. 植物水分利用效率及其研究进展[J]. 干旱地区农业研究,2002,20(4):1-5.
- [22] Farquhar G D, von Caemmerer S, Berry J A. A biochemical model of photosynthetic CO_2 assimilation in leaves of C3 species[J]. Planta,1980,149(1):78-90.
- [23] 焦娟玉,尹春英,陈珂. 土壤、氮供应对麻疯树幼苗光合特性的影响[J]. 植物生态学报,2011,35(1):91-99.
- [24] 贺正山,蔡志全,蔡传涛. 不同水分和施氮量对催吐萝芙木光合特性和生长的影响[J]. 中国生态农业学报,2010,18(4):758-764.
- [25] 赵海波,林琪,刘义国,等. 氮磷钾肥施对超高产冬小麦灌浆期光合日变化及产量的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(10):2545-2550.

Effect of Fertilization on Photosynthetic Characteristics, Yield of Sugar Beet at Later Stage in the Cold and Arid Areas of North China

WU Dong-xia, LIU Yu-hua, ZHANG Li-feng, ZHANG Jun-jun, ZHANG Li

(1. Zhangbei Agricultural Resource and Ecological Environment Key Field Research Station, Ministry of Agriculture of China, Zhangbei, Hebei 076450; 2. College of Agronomy, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000)

Abstract: Taking sugar beet in the cold and arid areas of north China as material, the effect of fertilization on photosynthetic characteristics, especially yield and quality of sugar beet were studied, using Li-6400 photosynthetic measurement system to monitor the photosynthetic physiological parameters change and the effects of fertilization on yield and quality of sugar beet during sugar accumulation and harvest stages. The results showed compared with no fertilization that the leaf daily accumulation of photosynthesis (P_D), the daily accumulation of transpiration (T_D) and the average daily water use efficiency (WUE_D) of sugar beet were significantly increased by 23.8%, 18.1%, 4.7% of fertilization, the midday photosynthetic adversity stress of sugar beet was significantly lowered; Compared with no fertilization, the values of light saturation point (LSP), light compensation point (LCP), apparent quantum efficiency (AQY) increased by 30.0%, 42.8%, 13.9% of fertilization, and the ability of PAR consumption were enhanced; The biological yield and sugar yield of fertilization treatment were increased by 29.4% and 21.5%. Results showed that Fertilization was the key technology for increased resistance, maintain high photosynthetic efficiency and enhance the photosynthetic productive potential of sugar beet in cold and arid regions of north China.

Key words: net photosynthetic rate; stomatal limitation analysis; light response curve; sugar beet