

文章编号: 1000-4025(2002)06-1330-06

土壤干旱条件下不同施钾水平对烟草 光合速率和蒸腾效率的影响^X

魏永胜², 梁宗锁^{1,2}, 田亚梅²

(1 中国科学院、水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室; 2 西北农林科技大学生命科学学院, 陕西杨陵 712100)

摘要:研究了土壤干旱条件下, 不同的施钾水平对烟草光合速率、胞间 CO₂ 浓度、气孔导度、蒸腾速率、蒸腾效率及生物量的影响。结果表明: 在土壤干旱条件下适量施钾可以减少叶肉细胞光合活性的下降, 消弱非气孔因素对光合的限制, 增强气孔调节能力, 提高蒸腾效率, 并获得较高的生物量。

关键词: 土壤干旱; 钾; 烟草; 光合速率; 蒸腾效率

中图分类号: Q948.12 文献标识码: A

Effect of potassium on tobacco photosynthesis and transpiration efficiency under soil drought stress and different potassium supplied

WEI Yong-sheng², LIANG Zong-suo^{1,2}, TIAN Ya-mei²

(1 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Agriculture on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 College of Life Science, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The experiment of the effect of different potassium supplied on tobacco photosynthesis rate, intercellular CO₂ content, stomatal conductance, transpiration rate, transpiration efficiency, and biomass under soil drought was carried out in pots. The results showed: The decrease of mesophylls photosynthetic action was reduced by appropriate potassium supplied, and non-stomatal inhibition of photosynthesis was also reduced. The

^X 收稿日期: 2002-04-02; 修改稿收到日期: 2002-08-01

基金项目: 国家青年基金(59909007)和国家重点基础研究规划项目(G19990117008)

作者简介: 魏永胜(1970-), 男(汉族), 讲师, 博士。

adjustive capability of stomatal and transpiration efficiency were improved by appropriate potassium supplied, and got higher biomass.

Key words: soil drought; potassium; tobacco (*Nicotiana tabacum*); photosynthesis rate; transpiration efficiency

干旱胁迫下植物光合作用明显受阻, 生长速率降低。而钾通过促进叶绿素的合成和类囊体膜的稳定^[1], 促进光合磷酸化作用, 加强 CO₂ 的同化^[2], 促进作物的正常呼吸作用、氧化磷酸化作用以及 ATP 的形成^[3]。因此, 许多研究表明^[4-8], 合理施用钾肥可改善作物体内的钾素营养状况, 提高作物抗旱能力和水分利用效率(WUE), 增强抗逆性, 增加作物产量和改善作物品质。由于钾对烤烟品质和产量影响明显, 目前的研究主要集中在钾对烟草品质影响方面, 而对干旱胁迫下钾对烟草抗旱节水方面的作用研究较少^[9]。研究了干旱条件下施钾对烟草光合、蒸腾及地上生物量的影响。

1 材料与与方法

1.1 供试材料

试验于 2000 年 6 月至 2000 年 12 月在西北农林科技大学资源环境学院日光温室内进行。将 25 下催芽的烟草种子直播于 22 cm × 20 cm 的生长钵中(干土 6 kg), 供试土壤为土质土, 基本理化性状(表 1), 供试烟草(*Nicotiana tabacum*)品种为 NC89(西北农林科技大学农学院提供), 供试肥料为硫酸钾、尿素、三料磷肥(P₂O₅ 42%)。

表 1 供试土壤的基本理化性状

Table 1 Soil physical and chemical characteristic used in experiment

		土壤有效养分 Available nutrient of soil (mg · kg ⁻¹)						有机质% Organic matter	pH
NH ₄ -N	NO ₃ -N	速效钾 K ₂ O Available potassium	速效磷 P ₂ O ₅ Available phosphate	Cu	Fe	Mn	B		
6.3	101.0	155.0	52.7	1.46	1.8	85.0	0.5	1.7	8.1

1.2 水分控制与施肥处理

钾处理设 3 个水平, 不施钾(F₁)、中等钾水平(F₂) 每盆 2.4 g、高钾水平(F₃) 每盆 4.8 g, 氮、磷、钾施入比例见表 2。按盆称取肥料, 粉碎后与土壤混匀装盆。

表 2 施肥处理

Table 2 Treatments of applying fertilizer (g · kg⁻¹ dry soil)

处理号 Treatment No.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
F ₁	0.2	0.2	0.0
F ₂	0.2	0.2	0.4
F ₃	0.2	0.2	0.8

在钾处理的基础上设正常供水和干旱 2 个处理, 干旱处理(W₁)为田间持水量 40% ~ 45%, 正常供水(W₂)为对照, 含水量为田间持水量的 70% ~ 75%。在烟苗长至 8 叶 1 心前各处理处于相同的生长条件下(土壤含水量 17% ~ 19%), 8 叶 1 心时选择生长均匀一致

的植株进行水分处理,并采取逐日称重法进行水分控制,使土壤含量始终保持在处理范围内(W_1 、 W_2)。为消除烟草生长对称重法水分控制的影响,另设 36 盆,每盆 3 株,水分处理开始后,每 3 d 称取 3 株,测株高、叶数以估计处理植株生物量。

1.3 测定项目及方法

水分处理 15 d 后,各处理水分状况稳定在设计范围内。水分处理后 25 d,选择叶位相近、大小相似的叶片(第 5 至第 8 叶),用 Li-Cor 6400 光合仪测定光合速率、胞间 CO_2 浓度、气孔导度、蒸腾速率及蒸腾效率,并计算烟草地上部分生物量。

2 结果与分析

2.1 土壤干旱条件下不同的施钾水平对烟草光合速率影响

表 3 结果表明,正常水分条件下,烟草叶片的光合速率随施钾量增加而增加,且上午的光合速率明显高于下午。这可能是由于上午温室内 CO_2 浓度($467.4 \text{ Lmol } CO_2 \cdot \text{mol air}^{-1}$)和相对湿度(43.1%)明显高于下午 CO_2 浓度($405.4 \text{ Lmol } CO_2 \cdot \text{mol air}^{-1}$)和相对湿度(29.8%),提高了光合速率。这也表明,在适当水分的情况下,较高 CO_2 浓度和相对湿度可以提高烟草叶片光合速率,并且增施钾肥可以显著提高烟草的光合速率。干旱胁迫下,施钾植株光合速率高于不施钾植株,不施钾植株的光合速率在下午明显低于上午,而施钾植株光合速率上午和下午之间无显著差异。干旱胁迫处理与正常供水处理相比,在上午干旱胁迫处理的植株光合速率明显低于正常供水处理,且 F_2 处理光合速率下降最少,光合速率明显高于 F_1 和 F_3 处理;下午,干旱胁迫下 F_1 和 F_3 处理的光合速率均明显降低,而 F_2 处理植株下午的光合速率无变化,且明显高于 F_1 和 F_3 处理。说明干旱胁迫可以明显降低烟草光合速率,而增施钾肥可以有效防止光合速率下降,尤其是在 CO_2 浓度和相对湿度较低的时段。

表 3 不同处理烟草叶片光合速率*
Table 3 The change of photosynthesis rate in different treatments

		$\text{Lmol}(CO_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$		
时间 Time		F_1	F_2	F_3
10:00	W_1	3.56d	6.32c	4.26d
	W_2	7.42c	9.59b	12.56a
15:00	W_1	1.29e	6.96c	4.31d
	W_2	4.32d	6.94c	7.99c

注: * 表中数据为各处理 3 株 3 次重复,数据后字母为同一测定时间内的同一指标在不同处理间 Duncan 多重比较的差异显著性($p = 0.05$)。下同。

Note: Data are means of 3 plants. Multiple comparisons is Duncan's New multiple test. Means with different small letters are different at $P = 0.05$ level. The same is as below.

2.2 土壤干旱条件下不同的施钾水平对烟草胞间 CO_2 浓度的影响

烟草叶片的胞间 CO_2 浓度变化结果见表 4。正常供水条件下,无论是上午还是下午,不同施钾处理间烟草叶片的胞间 CO_2 浓度无明显变化。干旱胁迫下,在光合速率较高的上午,烟草叶片的胞间 CO_2 浓度随施钾增加而增加,差异显著。与正常供水处理相比, F_1 处理胞间 CO_2 浓度明显升高,而此时光合速率却明显降低; F_3 处理植株在胞间 CO_2 浓度明显降低的同时,光合速率也明显降低, F_2 处理胞间 CO_2 浓度无明显变化,光合速率降

低。在光合速率较低的下午, F_3 处理植株叶片胞间 CO_2 浓度明显低于 F_1 和 F_2 处理, F_1 与 F_2 处理间则差异不明显。说明不施钾烟草植株光合速率下降的主要原因是非气孔限制, 即叶肉细胞光合活性下降引起的^[10]; 施钾植株光合速率下降的主要原因是气孔限制。说明施钾可以减少叶肉细胞光合活性的下降。

表 4 不同处理烟草叶片胞间 CO_2 浓度
Table 4 The change of intercellular CO_2 content in different treatments

时间 Time		Lmol (CO_2) · mol(air)		
		F_1	F_2	F_3
10:00	W_1	398.67a	250.00b	171.67c
	W_2	306.33b	281.00b	254.00b
15:00	W_1	266.00b	278.33b	188.00c
	W_2	263.67b	294.67b	240.33b

2.3 土壤干旱条件下不同的施钾水平对烟草气孔导度的影响

表 5 表明, 正常水分条件下 F_1 处理和 F_3 处理烟草叶片气孔导度高于 F_2 处理, 而干旱胁迫处理时, 其结果相反。从最高值看, 正常水分下以 F_2 处理最高, 干旱时 F_3 最高, 这与光合速率(表 3)及烟叶生物量(表 8)结果相一致, 说明一定的气孔开度对光合是非常必要的。从气孔导度变化看, 干旱胁迫与正常水分处理之间的差异以 F_3 处理最大, 可达到 $0.9 \text{ mmol}(\text{H}_2\text{O}) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 并且最大值 $0.12 \text{ mmol}(\text{H}_2\text{O}) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和最小 $0.01 \text{ mmol}(\text{H}_2\text{O}) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 均是 F_3 处理的叶片。这说明施钾可以增强气孔的调节能力。

表 5 不同处理烟草叶片气孔导度
Table 5 The change of stomatic conductance of tobacco in different treatments

时间 Time		$\text{mmol}(\text{H}_2\text{O}) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$		
		F_1	F_2	F_3
10:00	W_1	0.04d	0.04d	0.03de
	W_2	0.09bc	0.09bc	0.12a
15:00	W_1	0.02e	0.03de	0.02e
	W_2	0.09bc	0.08c	0.10ab

2.4 土壤干旱条件下不同的施钾水平对烟草蒸腾速率影响

表 6 不同处理烟草叶片蒸腾速率
Table 6 The change of transpiration rate of tobacco in different treatments

时间 Time		$\text{mmol}(\text{H}_2\text{O}) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$		
		F_1	F_2	F_3
10:00	W_1	0.31fg	0.41f	0.5ef
	W_2	0.77d	1.04c	2.23b
15:00	W_1	0.43f	0.82d	0.65de
	W_2	1.86bc	2.04b	2.63a

表 6 结果表明, 无论是上午还是下午, 正常供水条件下烟草蒸腾速率高于干旱胁迫处理。正常供水时蒸腾速率随施钾量增加而增加, 而干旱胁迫时 3 个钾处理植株上午的蒸腾速率差异不明显, 但下午施钾植株的蒸腾速率高于不施钾植株, 施钾植株间差异不明显。

这表明在相同的环境条件(CO₂浓度、相对湿度、气温、光照)下,如果水分可得到保证的条件下,增施钾肥,可以显著提高气孔开度。在低水分条件下,尽管施钾植株蒸腾速率降低幅度随施钾量增加而增加,但蒸腾速率绝对值仍高于不施钾植株,从而维持一定生长,获得相对较高生物量(表8)。进一步证明降低蒸腾是植物适应低水环境的主要措施。

2.5 土壤干旱条件下不同的施钾水平对烟草蒸腾效率的影响

表7为利用公式蒸腾效率=光合速率/蒸腾速率进行计算的结果。这种蒸腾效率是烟草植株单叶水的瞬时水分利用效率(WUE)。烟草的蒸腾效率在1d之中存在着显著差异,上午明显高于下午。这是由于上午和下午大气CO₂浓度、相对湿度不同对光合速率和蒸腾速率产生2个相反影响所造成的。值得注意的是,无论是上午还是下午,与正常供水条件相比,干旱胁迫下施钾植株的蒸腾效率显著提高,而不施钾植株蒸腾效率没有明显变化。而施钾植株间相比,F₂处理蒸腾效率要高于F₃处理。说明施钾可以提高干旱条件下烟草单叶水平水分利用效率。

表7 不同处理烟草叶片蒸腾效率*

Table 7 The change of transpiration efficiency of tobacco in different treatment s

Lmol(CO₂) · mmol(H₂O)⁻¹

时间 Time		F ₁	F ₂	F ₃
10:00	W ₁	11.48bc	15.41a	8.52c
	W ₂	12.45b	7.13cd	5.63de
15:00	W ₁	3.00e	8.49c	6.63cd
	W ₂	3.73e	2.12e	3.04e

Transpiration efficiency= photosynthesis rate/ transpiration rate.

2.6 土壤干旱条件下不同的施钾水平对烟草地上部分生物量的影响

正常供水条件下干物质累积量随着施钾量的增加而增加,施钾可降低茎/叶比值和叶脉/叶肉比值(表8)。表明施钾增加烟草叶片气孔开度,提高蒸腾速率并加强叶片内气体交换,从而提高光合速率,蒸腾速率的提高还有可能促进植株整体物质代谢,促进植株生长。此外,施钾可使烟草植株在CO₂浓度和相对湿度相对较低的下午仍保持在一个较高水平,最终获得较高的生物量。

表8 不同处理地上部分干物质累积量*

Table 8 Biomass of tobacco under drought and different potassium contents s

	干重 DW(g)				各部分所占百分比(%)					茎/叶 Stem/ Leaf	脉/肉 Vien/ meso- phyll
	茎 Stem	叶肉 Meso- phyll	叶脉 Vien	总和 Total	茎 Stem	叶肉 Meso- phyll	叶脉 Vien	叶 Leaf	总和 Total		
F ₁ W ₁	5.5	19.7	5.1	30.3	18.2	65.0	16.8	81.8	100.0	0.22	0.26
F ₁ W ₂	8.3	29.3	7.8	45.4	18.3	64.5	17.2	81.7	100.0	0.22	0.27
F ₂ W ₁	10.6	34.3	9.7	54.6	19.4	62.8	17.8	80.6	100.0	0.24	0.28
F ₂ W ₂	7.3	43.0	11.0	61.3	11.9	70.1	17.9	88.1	100.0	0.14	0.26
F ₃ W ₁	6.6	20.8	5.7	33.1	19.9	62.8	17.2	80.1	100.0	0.25	0.27
F ₃ W ₂	13.1	46.1	12.1	71.3	18.4	64.7	17.0	81.6	100.0	0.23	0.26

注: * 表中数据为3株的总量。

Note: Data are means of 3 plants.

减少,表明长期的低水环境对植物最明显的影响是生物量降低。但在干旱胁迫下, F₂ 处理烟草植株地上部分干物质累积量最高为 54.6 g, 并且高于不施钾植株在正常水分条件下的生物量(45.4 g), 施钾处理烟草的茎/叶比值和叶脉/叶肉比值增加。这较高的生物量可能是由于增施钾肥有效防止光合速率下降, 并增加植株中输导组织所占比例, 维持干旱下物质运输能力的结果。

3 讨论

干旱胁迫下烟草植株吸水减少, 光合速率下降, 造成植株生长减缓, 干物质积累减少。实验结果表明, 在土壤干旱条件下, 不施钾烟草植株光合速率下降的主要原因是非气孔限制, 即叶肉细胞光合活性下降引起的; 施钾植株光合速率下降的主要原因是气孔限制。因此, 适量施钾可以减少叶肉细胞光合活性的下降, 削弱非气孔因素对光合作用的限制, 有效防止光合速率下降。干旱胁迫条件下, 增施钾肥还可增强气孔的调节能力、维持一定蒸腾速率、增加植株中输导组织所占比例、提高干旱条件下烟草单叶水平水分利用效率, 获得相对较高的生物量。

在土壤干旱条件下适量施钾(F₂ 处理), 不仅可以减少光合速率的下降, 同时可以提高烟草植株的蒸腾效率, 并有效提高烟草叶片的含钾量。因此, 可以考虑在烟草生长的适当时期, 适量施用钾肥并控制土壤含水量, 在产量降低不多的情况下, 同时达到提高烟叶含钾量和提高水分利用效率两个目的, 提高烟草种植的经济效益。而在土壤干旱条件下高钾(F₃ 处理) 还可提高气孔对干旱的反应强度, 降低气孔导度, 减少水分散失, 减少蒸腾作用的效果十分明显, 这与曹敏建等^[11] 的试验结果是一致的。但这种由于过量钾素引起气孔阻力增大, 抵抗蒸腾作用的机理还不清楚, 但这对含钾抗蒸腾剂的研究来说可能有一定的启示。

参考文献:

- [1] TERRY N. Limiting factors in photosynthesis: . Iron stress-mediated changes in light-harvesting and electron transport capacity and its effects on photosynthesis in vivo[J]. *Plant Physiol*, 1983, 71: 855- 860.
- [2] PEOPLES T R, MENGEL K, KOCH W. Role of potassium in carbon dioxide assimilation in *Medicago sativa* L. [J]. *Plant Physiol*, 1979, 63: 878- 881.
- [3] HEBER U, HELDT H W. The chloroplast envelope: structure, function and role in leaf metabolism[J]. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 1981, 32: 139- 168.
- [4] 邹国元, 杨志福, 李晓林. 低温下钾在植物水分调节中的作用[J]. *中国农业大学学报*, 1999, 4(1): 21- 25.
- [5] 梁德印, 徐美德, 王晓琪, 等. 钾营养对棉花养分吸收和干物质累积的影响[J]. *中国农业科学*, 1992, 25(2): 69- 74.
- [6] 李贵宝, 焦 有, 孙克刚, 等. 砂姜黑土的固钾特性和小麦施用钾肥的效应[J]. *干旱地区农业研究*, 1998, 16(2): 65- 68.
- [7] 李贵宝, 张桂兰, 孙克光, 等. 豫西旱地冬小麦施用钾肥及其与氮肥配施的研究[J]. *干旱地区农业研究*, 1995, 13(2): 64- 67.
- [8] 黄满凤, 周家秋, 杨志福, 等. 干旱胁迫下钾对玉米水分利用效率的影响[A]. *现代土壤科学研究*[C]. 北京: 中国农业科技出版社, 1994: 481- 483.
- [9] 周冀衡, 朱小平, 王彦亭, 等. *烟草生理与生物化学*[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1996.
- [10] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题[J]. *植物生理学通讯*, 1997, 33(4): 241- 244.
- [11] 曹敏建, 张雨林, 佟占昌. 钾肥对玉米抗旱性生理指标及产量的影响[J]. *作物杂志*, 1994, 4: 37- 39.