

钾水互作对烟草光合特性的影响

曹芳, 赵泽茹, 魏永胜

(西北农林科技大学生命科学学院, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 为探讨钾水互作对烟草植株形态和光合特性的影响, 以云烟 89 (*Nicotiana tabacum* L.) 为材料, 通过盆栽沙培试验测定不同水分和钾处理相互组合下烟草株高、叶长、叶宽、叶片数以及光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度等指标。试验设置正常供水、轻度干旱胁迫和重度干旱胁迫 3 个水分处理, 以及施 K^+ 浓度分别为 2.4、5.4、9.9 mmol/L 3 个钾处理。结果表明: 水分对株高和叶片数的影响显著; 钾对叶长和叶宽的影响显著; 水分和钾水互作对净光合速率及气体交换参数的影响显著。轻度水分胁迫下, 高钾处理有利于烟草光合作用; 重度水分胁迫下, 高钾处理不利于烟草光合作用。低钾处理下, 随着水分胁迫加重光合速率下降是由气孔因素引起的; 高钾处理下, 随着水分胁迫加重光合速率下降是由非气孔因素引起的。正常供水条件下, 5.4 mmol/L 的钾浓度是最佳浓度。

关键词: 钾水互作; 烟草; 光合特性

中图分类号: S572 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)05-0138-05

烟草对于钾的需求量很大, 并且钾是影响烟叶品质的重要元素之一。而我国烟叶平均含钾量为 1%~2%, 很少超过 2%^[1]。针对我国烟叶含钾量低这一问题, 目前国内许多研究都集中在如何提高烟叶含钾量和改善烟叶品质上。此外, 已经有研究表明干旱胁迫下, 随着供钾水平的提高, 烟草的生长量增强、叶绿素降解速率减小, 烟叶的细胞膜损伤度降低、膜脂过氧化作用减轻、丙二醛的生成量降低^[2]。土壤干旱条件下, 适量施钾可以增强气孔调节能力, 提高蒸腾速率, 并获得较高的生物量^[3]。干旱条件下 K^+ 还能够维持细胞内膨压及电荷平衡, 维持和调节干旱条件下许多生理生化过程与代谢平衡之间的关系, 从而增强作物的抗旱性^[4]。在不同干旱程度下, 适量施钾可以减少烟草叶肉光合活性的下降^[5]。

本试验的研究目的主要是考察水分和钾互作对烟草植株地上部形态指标和光合特性的影响, 从而阐明钾和水分互作在提高烟草抗旱方面的作用机理, 为烟草栽培提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验于 2008 年 3 月在西北农林科技大学生命科学学院玻璃温室中进行, 供试品种为云烟 89 (由

陕西省烟草公司提供)。采用沙培, 砂子用孔径 3mm 的筛子过筛后, 用水浸泡, 除去粘土和有机质, 晒干后装入营养钵 (10 cm × 10 cm) 中, 每个营养钵装 400 g。烟草种子经 1% 硫酸酮消毒处理并催芽后, 播入装有供试砂子的营养钵中。播种后一个月

内浇 1/4 营养液培养, 一个月后浇完全营养液。
营养液配方^[6]: KCl 0.1, K_2SO_4 0.75, MgSO_4 0.65, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 2.0, KH_2PO_4 0.25, MnSO_4 1×10^{-3} , H_3BO_3 1×10^{-2} , CuSO_4 1×10^{-4} , ZnSO_4 1×10^{-3} , $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ 5×10^{-6} , $\text{EDTA}-\text{Fe}$ 0.1, 单位均为 mmol/L。

烟草长出 8 片真叶时进行不同浓度钾处理, 以不同浓度 K_2SO_4 配制成的营养液进行处理, 营养液中除了 K_2SO_4 外, 其它养分组成不变, K_2SO_4 浓度分别为: 1.025、2.525、4.775 mmol/L, 加上溶液中 KCl 和 KH_2PO_4 中 K^+ , 溶液中总的 K^+ 浓度分别为 K_1 : 2.4 mmol/L, K_2 : 5.4 mmol/L, K_3 : 9.9 mmol/L。因硫酸根离子对其它离子的吸收影响很小, 因此选用硫酸钾^[6]。钾处理 40 d 后进行不同程度的水分处理, 设置 3 个水平 (用每次浇营养液体积表示, 每 2 d 浇一次), 分别是 W_1 (正常水分) 50 mL、 W_2 (轻度胁迫) 30 mL、 W_3 (重度胁迫) 20 mL。试验共 9 个处理, 每个处理设置 3 个重复。

1.2 测定项目及方法

水分处理 30 d 后, 进行地上部形态指标的测

收稿日期: 2010-04-03

基金项目: 西北农林科技大学青年科学基金 (04ZM049, 06ZR032)

作者简介: 曹芳 (1981—), 女, 在读硕士, 从事植物水分与营养生理研究。E-mail: cao_fang2006@yahoo.com.cn。

通讯作者: 魏永胜 (1970—), 男, 副教授, 主要从事植物水分与营养生理研究。

定,包括:株高、叶片数、叶片长和叶片宽。叶片长宽表示的是同一片叶子。叶片数包括植株上所有的叶片数,脱落的叶片用叶痕计数。光合特性测定与植株形态指标测定在同一天进行,采用美国 Li - Cor 公司生产的 Li - 6400 便携式光合作用测定仪测定,光合仪测定的实时条件为:叶面积指数 6,叶片温度为 21.3℃,参比室相对湿度为 9.7%,气室 CO₂ 浓度 582.5 μmol CO₂/mol,重复 3 次(3 株,相近叶位)。

1.3 数据分析及处理方法

数据处理采用 SPSS version 16.0 软件 Duncan^{abc} 法进行 $p < 0.05$ 水平的多重比较显著性分析。结果中数据用平均值表示。

2 结果分析

2.1 钾水互作对烟草地上部形态、净光合速率和气体交换参数影响的方差分析

由表 1 可知,水分对株高和叶片数的影响都达到极显著水平;钾对叶长和叶宽的影响达到显著水平;钾水互作对地上部各形态指标影响较小,未达到显著水平。说明烟草株高和叶片数的变异主要是由水分引起的,而叶长和叶宽的变异主要是由钾引起

的。

由表 2 可知,水分和钾水互作对净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度和蒸腾速率的影响均达到极显著水平(钾水互作对气孔导度的影响达到显著水平)。钾对烟草生长后期光合特性影响较小,未达到显著水平。

2.2 钾水互作对烟草地上部植株形态影响的多重分析

由表 3 可知,W1K2 的株高、叶片数和叶长最大,W3K1 的株高、叶长和叶宽值最小。说明 W1(每次浇水 50 mL)和 K2(5.4 mmol/L)钾处理组合下植株地上部形态总体表现最优。正常供水下,随钾浓度增加,株高、叶片数、叶长和叶宽变化都不显著。轻度水分胁迫处理下,K2 和 K3 处理的叶宽显著大于 K1 处理。重度水分胁迫处理下,K3 的叶长和叶宽值显著大于 K1 处理。说明在水分胁迫下,叶片的大小对钾处理的响应更敏感。K1 和 K3 处理下,随水分胁迫加重,株高、叶片数、叶长和叶宽变化不显著。K2 处理下,随水分胁迫加重,W1 的株高、叶片数和叶长显著大于 W3。说明在 K2 处理下,株高和叶片数对水分胁迫的响应更敏感。

表 1 钾水互作对烟草地上部形态影响的显著性检验

Table 1 Significant analysis of effect of the interaction of potassium and water treatment on over ground modality of tobacco

处理 Treatment	显著水平 Significant level			
	株高 Shoot height	叶片数 Total number of leaves	叶长 Leaf length	叶宽 Leaf width
水分 Water	0.007 * *	0.001 * *	0.080	0.231
钾 Potassium	0.108	0.985	0.011 *	0.010 * *
钾 × 水分 Potassium × Water	0.852	0.350	0.404	0.270

注: * 表示差异达 5% 显著水平; * * 表示差异达 1% 水平。
Note: * means significance at 5% level; while * * means significance at 1% level.

表 2 钾水互作对烟草光合特性影响的显著性检验

Table 2 Significant analysis of effect of the interaction of potassium and water treatment on photosynthetic property of tobacco

处理 Treatment	显著水平 Significant level				
	净光合速率 Net photo- synthetic rate	气孔导度 Stomatal conductance	胞间 CO ₂ 浓度 Intercellular CO ₂ concentration	蒸腾速率 Transpiration rate	蒸腾效率 Transpiration efficiency
水分 Water	0.000 * *	0.005 * *	0.000 * *	0.001 * *	0.089
钾 Potassium	0.114	0.676	0.919	0.539	0.282
钾 × 水分 Potassium × Water	0.000 * *	0.025 *	0.001 * *	0.004 * *	0.510

注: * 表示差异达 5% 显著水平; * * 表示差异达 1% 水平。
Note: * means significance at 5% level; while * * means significance at 1% level.

2.3 钾水互作对烟草净光合速率和气体交换参数影响的多重分析

由表 4 可知,W2K3 组合下,净光合速率、气孔

导度和蒸腾速率最大,W3K3 组合下,三者值最小。W1K2 处理组合下,蒸腾效率最高,W3K3 组合下蒸腾效率最低。说明轻度水分胁迫下,高钾处理有利

于光合作用,而重度水分胁迫下,高钾处理不利于光合作用。

正常供水下,净光合速率随钾浓度增加显著增大,其它指标变化不显著。轻度水分胁迫下,K3 的净光合速率和蒸腾速率显著大于 K1 处理,并且随钾浓度增加,净光合速率、蒸腾速率和气孔导度呈增加趋势,胞间 CO₂ 浓度呈降低趋势。重度水分胁迫下,K3 的净光合速率、蒸腾速率和气孔导度显著小

于 K1 处理,并且随着钾处理浓度增加,净光合速率、蒸腾速率和气孔导度呈降低趋势,胞间 CO₂ 浓度呈增加趋势。

K1 处理下,W3 的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO₂ 浓度都小于 W2。K2 和 K3 处理下,W3 的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和蒸腾效率小于 W1,而胞间 CO₂ 浓度却大于 W1,并且在 K3 处理下差异达到显著水平。

表 3 钾水互作对烟草地上部植株形态的影响

Table 3 Interactive effect of water and potassium on over-ground modality

处理 Treatment	株高(cm) Shoot height	叶片数 Total number of leaves	叶长(cm) Leaf length	叶宽(cm) Leaf width
W1K1	23.4 ab	13.7 ab	11.1 abcd	3.4 abed
W1K2	31.8 a	21.7 a	12.9 a	3.2 bed
W1K3	31.6 a	20 ab	12.1 abc	3.6 abed
W2K1	17.9 ab	19 abc	10.2 cd	3.2 cd
W2K2	19.8 ab	18.3 bc	11.3 abed	4.1 abc
W2K3	23.5 ab	18.3 bc	11.5 abed	4.1 ab
W3K1	16.2 b	17.7 bc	10.1 d	3.1 d
W3K2	17.6 b	16.3 c	10.9 bcd	3.8 abed
W3K3	22.3 ab	17.7 bc	12.4 ab	4.2 a

注:表中数据用平均值表示,同一指标的同列数值间不同字母表示差异显著(P<0.05)。下同。

Note: The data in the table are presented with the mean, while values within the same line at the same parameter mean significant difference at 0.05 level. The same as below.

表 4 钾水互作对烟草净光合速率和气体交换参数的影响

Table 4 Interactive effect of water and potassium on photosynthetic property

处理 Treatment	净光合速率 P _n [μmol CO ₂ /(m ² ·s)]	气孔导度 G _s [mol H ₂ O/(m ² ·s)]	蒸腾速率 T _r [mmol H ₂ O/(m ² ·s)]	胞间 CO ₂ 浓度 C _i [μmol CO ₂ /mol]	蒸腾效率 P _n /T _r [μmol CO ₂ /mol H ₂ O]
W1K1	1.43 c	0.0122 ab	0.2053 b	285.3 de	7.1982 ab
W1K2	1.99 b	0.0116 b	0.1770 bc	150.3 f	11.2669 a
W1K3	2.63 a	0.0114 b	0.2527 b	249.5 e	10.9312 a
W2K1	1.95 b	0.0128 ab	0.2843 b	374.0 bc	7.5567 ab
W2K2	2.77 a	0.0132 ab	0.2903 ab	349.3 bcd	10.2276 a
W2K3	2.88 a	0.0184 a	0.4060 a	327.0 cde	7.1317 ab
W3K1	1.89 b	0.0122 ab	0.2697 b	336.3 bcd	7.0392 ab
W3K2	0.91 d	0.0082 bc	0.1876 bc	417.0 ab	6.8028 ab
W3K3	0.44 e	0.0037 c	0.0795 c	472.0 a	5.4746 b

P_n: net photo synthetic rate; G_s: stomatal conductance; T_r: transpiration rate; C_i: intercellular CO₂ concentration.

3 讨 论

在本研究中,水钾互作对烟草植株地上部形态的影响表现为:水分对株高和叶片数的影响显著,钾对叶长和叶宽的影响显著。水钾互作对烟草光合特性的影响表现为:净光合速率、胞间 CO₂ 浓度、气孔导度和蒸腾速率的变异受水分和水钾互作的影响显著,受钾的影响不显著。

造成植物光合作用下降的自身因素可分为气孔因素和非气孔因素,气孔因素指水分胁迫使气孔导度下降,CO₂ 进入叶片受阻而使光合下降。判断光合速率下降是受气孔因素还是非气孔因素限制的依据是:光合速率和气孔导度变化与细胞间隙 CO₂ 浓度的变化一致,说明受到气孔因素限制,如果光合速率和气孔导度变化与胞间 CO₂ 浓度趋势相反则是非气孔因素限制^[7~9]。干旱胁迫造成光合速率下降的

非气孔因素主要是由于干旱引起 RuBP 羧化酶效率降低和光合作用表观量子效率下降引起的^[10]。也有研究表明植物体内活性氧代谢而引发的生物膜结构破坏是导致光合作用非气孔限制的主要原因^[11,12]。柯世省等研究表明轻度和中度干旱胁迫下光合能力的下降主要是由气孔限制引起的,而在重度胁迫下则由非气孔限制起主要作用^[13]。

本实验中,轻度干旱胁迫下,高钾处理可以显著的增大光合速率,并且光合速率和气孔导度的变化趋势与胞间 CO₂ 浓度的变化趋势相反,说明高钾处理增大光合速率是由于施钾消除了气孔因素对光合的限制,这与魏永胜等研究结果一致,即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,消除气孔因素对光合的限制,增强气孔调节能力^[4]。重度干旱胁迫下,烟草叶片的净光合速率随着钾浓度的增加呈显著下降趋势,参考气孔导度和胞间 CO₂ 浓度的变化趋势,可以看出,重度干旱胁迫下,高钾处理引起光合速率的下降是由非气孔因素引起的。高钾处理 K3 下,随着水分胁迫加重,烟草叶片的光合速率、气孔导度显著下降,胞间 CO₂ 浓度显著上升,光合速率下降并不是由气孔导度下降使 CO₂ 供应减少所致,而是由非气孔因素阻碍了 CO₂ 的利用,因而造成 CO₂ 的积累。高钾处理下水分胁迫加重引起光合速率下降的原因同重度干旱胁迫下高钾处理引起光合速率下降的原因是一致的,都是因为非气孔因素引起的,即可能由于高钾和干旱共同作用引起 RuBP 羧化酶效率降低和光合作用表观量子效率下降,或者是由植物体内活性氧代谢而引发的生物膜结构破坏引起的。造成这种现象的原因可能是高钾处理下植物将不能利用的钾回流到土壤溶液中加重干旱胁迫造成的。低钾处理 K1 下,随着水分胁迫加重,光合速率、气孔导度和胞间 CO₂ 浓度都减小。说明低钾处理下,随水分胁迫程度加重光合速率下降,这种由胁迫引起的光合速率下降主要是受到气孔因素的限制。适量的钾处理是可以缓解严重的干旱胁迫,而过量的高钾处理则对植物不

利。高钾处理下的重度干旱对植物的损伤程度远远大于适度低钾处理下的重度干旱对植物的损伤。钾虽然是大量元素,但是在施用上要注意量的把握。

烟草对钾水互作的响应具有组织特异性,水分胁迫下,叶片对钾浓度的响应敏感。5.4 mmol/L 的钾处理下,株高和叶片数对水分胁迫的响应敏感。

参考文献:

- [1] 刘华山,王方,韩锦峰,等.烟草钾素营养的研究进展[J].安徽农业科学,2006,34(19):4961—4962.
- [2] 杨虹琦,周冀衡,罗泽民,等.干旱胁迫下供钾水平对烟草生长和钾素吸收及抗旱性的影响[J].湖南农业大学学报,2003,29(5):376—379.
- [3] 魏永胜,梁宗锁.钾与作物抗旱性的关系[J].植物生理学通讯,2001,37(6):576—580.
- [4] 魏永胜,梁宗锁,田亚梅.土壤干旱条件下不同施钾水平对烟草光合速率和蒸腾速率的影响[J].西北植物学报,2002,22(6):1330—1335.
- [5] 魏永胜,梁宗锁,张福锁.干旱胁迫及不同钾水平下烟草叶肉细胞中钾的再分布[J].植物营养与肥料学报,2002,8(4):447—451.
- [6] 郑宪滨,曹一平,张福锁,等.不同供钾水平下烤烟体内钾的循环、累积和分配[J].植物营养与肥料学报,2000,6(2):166—172.
- [7] 曹慧,兰彦平,王孝威,等.果树水分胁迫研究进展[J].果树学报,2001,18(2):110—114.
- [8] Winter K, Schromm M J. Analysis of stomatal and nonstomatal components in the environmental control of CO₂ exchanges in leaves of *welwitschia mirabilis*[J]. Plant Physiol, 1986,82:173—178.
- [9] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Ann Rev Physiol, 1982,33:317—345.
- [10] Ni B R, Pallardy S G. Stomatal and nonstomatal limitations to net-photosynthesis in seedlings of woody angiosperms[J]. Plant Physiol, 1992,99:1502—1508.
- [11] 曹慧,周磊.水分胁迫下非气孔因素对葡萄叶片光合作用的影响[J].潍坊学院学报,2007,7(2):56—59.
- [12] 姚庆群,谢贵水.干旱胁迫下光合作用的气孔与非气孔限制[J].热带农业科学,2005,25(4):81—85.
- [13] 柯世省,金则新.干旱胁迫和复水对夏腊梅幼苗光合生理特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,3(6):1166—1172.

Interactive effect of water and potassium on photosynthesis of tobacco

CAO Fang, ZHAO Ze-ru, WEI Yong-sheng

(College of Life Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The experiment of the interactive effect of potassium and water on tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) over ground modality and photosynthesis was carried out in pots with sand. There were three water treatments and three potassium treatments. The plant height, total number of leaves, leaf length, leaf width and the photosynthetic rate, transpiration rate, intercellular CO₂ concentration and stomatal conductance were measured. The results showed: The effect of water on plant height and total number of leaves are significant; The effect of potassium on leaf length and leaf width are significant; The interactive effect of water and potassium on photosynthesis are significant. Under light drought stress condition, high potassium treatment plays active role on photosynthesis; while under severe water deficiency condition, the effect of high potassium on photosynthesis is negative. Under low potassium condition, as water stress become severe, the net photosynthetic rate decreases because of stomatal factor; while under high potassium treatment, it is non-stomatal factors that lead to the net photosynthetic rate decrease. Under normal water supply, 5.4 mmol/L potassium concentration is optimum.

Keywords: interactive of water and potassium; tobacco; photosynthetic characteristics

(上接第 132 页)

The action and influence of polluted irrigation water on soil nutrients balance

HU Hai-yan, WANG Yi-quan, ZHANG Yu-lin, SUN Lei, XU Hai

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The quality of irrigation water directly affects soil quality and soil nutrients balance. This study is mainly about soil organic carbon and nutrients variability in Jiaokou irrigation district in Shaanxi Province. The samples consisted of well water irrigation and no irrigation farmland soils, having the same conditions in soil genesis, usage and management. Then, we analyzed the amount of soil organic matter and main nutrients in different layers from 0 ~ 100 cm in soil profiles. The results show that the content of soil organic matter, alkali dispelled N, available P and available K in farmland were sharply higher in the swage irrigation treatment than in the well water irrigation treatment. And, in the 0 ~ 20 cm layers, the contents of soil organic matter, alkali dispelled N, available P and available K were 24.92 g/kg, 108.26 mg/kg, 155.45 mg/kg and 353.72 mg/kg, which were increased by 40.68%, 44.98%, 116.92% and 44.27% compared to the well water irrigation treatment, and by 35.74%, 35.69%, 189.27% and 122.35% compared to non-irrigation treatment. The data in this study sufficiently indicate that long-term sewage irrigation leads to eutrophication in soil profiles, particularly to surplus phosphorus and potassium, which should be paid much attention to in drafting the rules in terms of soil management and scientific fertilizer application.

Keywords: sewage irrigation; organic matter; alkali dispelled N; available P; available K