

土壤水分对烤烟生长、物质分配和养分吸收的影响

余 砾¹, 高 明^{1*}, 王子芳¹, 徐 畅², 谢会川², 李常军²

(1 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2 中国烟草公司重庆市公司, 重庆 400000)

摘要: 采用室内盆栽试验研究了不同土壤含水率对烤烟生长、物质分配和养分吸收的影响。结果表明, 烤烟株高随土壤含水率的增加而增高; 生物量随土壤含水率的降低而减小, 其减幅为叶 > 茎 > 根, 而根冠比则与土壤含水率成反比, 反映了烟草对土壤水分含量差异响应的整体特征。不同生育期叶绿素对土壤含水率的响应不同, 团棵期、旺长期和成熟期的土壤相对含水率分别为 70%~75%、80%~85% 和 50%~55% 时, 各处理中叶绿素含量最高。各处理烤烟对养分的吸收表现为对氮、钾吸收量显著大于磷, 且当土壤含水率低于烤烟所需的适宜含水率时, 随着土壤含水率的降低, 烤烟茎、根的养分吸收量均有不同程度的升高, 但叶中却有所下降; 而各生育期根、茎、叶在土壤含水率过高的情况下, 对养分氮、磷、钾的吸收均显著降低。

关键词: 土壤水分含量; 烤烟; 生物量; 养分吸收

中图分类号: S572.01.061

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2011)04-0989-07

Effects of soil moisture content on growth, biomass partition and nutrient uptake of tobacco

YU Luo¹, GAO Ming^{1*}, WANG Zi-fang¹, XU Chang², XIE Hui-chuan², LI Chang-jun²

(1 College of Resources and Environment, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716, China

2 Chongqing Tobacco Corporation, Chongqing 400000, China)

Abstract: Effects of different soil moisture contents on the nutrient uptake and growth of flue-cured tobacco were studied under the pot cultivation. The results show that with the increase of soil moisture content, the height and biomass of tobacco are increased, and the amplitude increments are leaf > stem > root, while the root to shoot ratios are inversely proportional to the moisture content, which reflects the characteristics of the responses of tobacco growing to various soil moisture contents. Chlorophyll has different responses to soil moisture content in different growing periods, and the most optimum soil moisture content for Chlorophyll at different growing periods are 70%–75%, 80%–85% and 50%–55%, respectively. The uptakes of nitrogen (N) and potassium (K) are all significantly greater than that of phosphorus (P) in the five treatments, with the decrease of soil moisture content, the nutrient uptakes of roots and stems are increased in varying degrees when the moisture content is less than the optimum level that required by tobacco, while the uptakes of leaves are declined. While in the case of excessive soil moisture content, the nutrients uptakes (N, P, K) of roots, stems and leaves are significantly reduced in each period.

Key words: soil moisture content; tobacco; biomass; nutrient uptake

土壤水分是影响作物生长发育的重要因子^[1]。烟草喜温暖而湿润的气候, 整个生育期对水分的要求都很高, 因此土壤水分对烤烟生长发育、生理生化过程、烟叶的产量和品质及养分利用都有显著的

影响^[2-5]。

大量试验阐述了不同生育期烟草的产量和品质与土壤含水率之间的关系, 但得出的结论却不尽相同。刘贞琦^[2]提出, 各生育期的最适土壤相对含水

收稿日期: 2010-11-06

接受日期: 2011-02-22

基金项目: 重庆市烟叶公司项目(2008yy01005); 国家科技支撑计划(2008BABA7B09; 2007BAD87B10)资助。

作者简介: 余砾(1987—), 女, 重庆璧山人, 硕士研究生, 主要从事土壤质量与环境方面的研究。Email: yuluo1987@163.com

* 通讯作者 E-mail: gaoming@swu.edu.cn

量,伸根期为 60%~70%,旺长期为 80%,成熟期为 70%;而陈瑞泰等^[3]则认为,成熟期应保持田间最大持水量的 60%~65% 的水分为宜;也有研究认为,伸根期、旺长期和成熟期分别以保持土壤相对含水量为 60% 左右、80% 以上和 60%~70% 为宜^[6]。造成研究结果的差异主要与各地的烟草品种、土壤性质、气候等因素不同有关。尽管土壤水分对烟草生长发育及养分吸收影响已有许多报道,但有关重庆市烤烟生长与水分的关系研究尚不多。因此,采用盆栽试验,研究了不同水分处理下烟草生长发育和养分吸收特征,以期探明水分对烤烟生长发育和养分吸收的影响,进一步认识水分在烟草生长发育中的重要作用,为重庆地区烟草优质高产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

盆栽试验在西南大学植物营养系网室内进行。供试土壤为黄壤,采自重庆市北碚区龙车寺,自然风干后备用。其基础养分含量为:有机质 29.1 g/kg,全氮 1.45 g/kg,全磷 1.10 g/kg,全钾 16.3 g/kg,有效氮 125.8 mg/kg,有效磷 24.6 mg/kg,速效钾 189 mg/kg,pH 值 7.5,田间持水量为 35%。供试烤烟品种为云烟 87。

试验设计:土壤含水率分别为田间持水量的 50%~55% (T1)、60%~65% (T2)、70%~75% (T3)、80%~85% (T4)、90%~95% (T5) 等 5 个处理,每个处理重复 9 次,随机区组排列。2009 年 5 月 16 日将生长一致的烟苗移栽至上下口径 23 cm、高 31 cm,装土 10 kg 的塑料盆钵中,每盆 1 株。当烤烟生长至 5~6 片叶后,于 2009 年 6 月 15 日开始控制土壤含水率,每日采用 TDR 土壤水分测定仪监测一次,确定需要补给的灌水量,并定时定量进行补给。所用肥料配比为 $N:P_2O_5:K_2O=1:1:2.5$,即每株烟苗施 N 4 g(尿素)、 P_2O_5 4 g(过磷酸钙)、 K_2O 10 g(氯化钾)^[7]。磷、钾作基肥一次施用,尿素 60% 作基肥,40% 作追肥施用,一个月之内施入土壤。每次各处理取烟株 3 株(即 3 个重复)供测定用。

1.2 测定项目及方法

土壤有机质用 $K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$ 容量法测定;土壤 pH 用 1:1 土水比悬液,pHS-4C 酸度计电位法测定;全氮用凯氏定氮法;全磷用 NaOH 熔融,钼蓝比色法;全钾用 NaOH 熔融,火焰光度法;有效氮用碱解扩散法;有效磷用钼蓝比色法;速效钾用

NH_4OAC 浸提,火焰光度法测定;田间持水量采用室内环刀法测定^[8]。

叶绿素含量的测定:取新鲜植物叶片,洗净组织表面污物,去掉中脉,剪碎混匀。称取 0.3~0.4 g 样品,放入研钵,加少量石英砂,放入 2~3 mL 95% 乙醇研磨成匀浆,再加 5~10 mL 95% 乙醇继续研磨至组织变白,用滤纸过滤,定容至 25 mL。最后用 721 分光光度计分别测定 649 和 665 nm 处的吸光值,以 95% 乙醇为空白对照^[9]。

生长指标的测定:分别于烤烟团棵期、旺长期、成熟期对各处理进行破坏性取样,测定其株高(茎的基部到顶端的高度)、最大叶长、最大叶宽、茎宽、节间距等指标;然后挖出烟苗,用自来水冲净,收集断根,吸干表面水分,分别称取根、茎和叶的鲜重。样品置入烘箱中 105℃ 杀青 10 min,然后在 80℃ 下烘干至恒重,称干重,并进一步计算生物量和根冠比。

烤烟干样氮、磷、钾含量的测定:全氮用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消化-蒸馏法;全磷用钒钼黄比色法;全钾用火焰光度法^[8]。

利用 SPSS13.0 软件,对数据进行方差分析(LSD 法)。

2 结果与分析

2.1 不同土壤水分处理对烟草生长发育的影响

2.1.1 不同土壤水分处理对烤烟农艺性状的影响

肖金香等^[10]研究表明,各生育期株高均随土壤含水率增多而生长加快,成熟期更加明显,团棵期受土壤含水率高低影响最大。本试验结果(表 1)看出,各生育期株高均表现为: $T1 < T2 < T3 < T4 < T5$;而同一水分处理则表现为成熟期最高,旺长期次之,团棵期最低。土壤含水率在 50%~65% 时,生长相对缓慢,而在 70%~95% 时,生长进程比较明显。方差分析表明,各处理间株高的差异均达到显著水平。T5 处理株高 91.8 cm,分别是 T1、T2、T3 和 T4 处理株高的 2.93、2.24、1.34 和 1.09 倍。同时看出,土壤含水率越低,其烟草生长越慢,叶干黄,甚至出现干枯掉叶现象,开花期提前 5~7 天。

水分对烟草的叶面积、茎粗和叶数等均有影响^[11]。表 1 还看出,团棵期随土壤含水率的增高,有效叶数减少;旺长期,土壤含水率过高或过低,均使有效叶数减小,表现为 $T4 > T5 > T3 > T2 > T1$;而成熟期由于烤烟所需要的水分开始减少,有效叶数则呈 $T3 > T4 > T5 > T2 > T1$ 。各生育期最大叶长、叶宽和节间距均表现为随土壤含水率的增加先增加后

表 1 土壤含水率对烟草农艺性状的影响
Table 1 Effects of soil water contents on agronomic characters of tobacco

生育期 Growth stage	处理 Treat	株高 Height (cm)	有效叶数 Leaves (No./plant)	最大叶长 Max. leaf length (cm)	最大叶宽 Max. leaf width (cm)	节间距 Node distance (mm)	茎宽 Stem width (mm)
团棵期 Resettling stage	T1	26.4 ± 1.4 d	12.67 ± 0.58 a	14.13 ± 0.10 c	14.13 ± 0.13 d	2.80 ± 0.35 a	8.80 ± 0.36 c
	T2	27.2 ± 0.3 d	11.67 ± 0.58 a	16.27 ± 0.13 a	16.27 ± 0.18 b	2.80 ± 0.26 a	9.26 ± 0.21 b
	T3	34.0 ± 0.9 c	11.33 ± 0.58 a	16.43 ± 0.37 abc	17.43 ± 0.28 a	3.00 ± 0.36 a	9.43 ± 0.12 bc
	T4	44.5 ± 1.3 b	11.00 ± 0.00 a	15.13 ± 0.08 b	15.13 ± 0.37 c	3.50 ± 0.81 a	10.13 ± 0.69 ab
	T5	47.8 ± 0.3 a	10.67 ± 0.58 a	14.88 ± 0.43 abc	14.17 ± 0.36 d	3.00 ± 0.40 a	10.90 ± 0.76 a
旺长期 Vigorous growing stage	T1	30.7 ± 0.3 e	9.33 ± 0.58 d	16.77 ± 0.10 b	15.77 ± 0.42 c	3.28 ± 0.48 b	11.20 ± 0.15 e
	T2	35.6 ± 1.2 d	11.67 ± 0.58 c	17.03 ± 0.16 b	16.33 ± 0.2 c	3.32 ± 0.28 b	14.00 ± 0.42 d
	T3	66.2 ± 1.4 c	20.00 ± 1.00 b	18.10 ± 0.35 ab	18.10 ± 0.55 b	3.62 ± 0.79 ab	19.00 ± 0.17 c
	T4	98.7 ± 7.6 b	28.00 ± 1.00 a	20.07 ± 0.09 a	20.07 ± 0.45 a	4.40 ± 0.54 a	21.67 ± 0.41 b
	T5	102.3 ± 1.7 a	26.67 ± 0.58 a	19.23 ± 0.24 a	18.23 ± 0.25 b	4.22 ± 0.09 a	23.33 ± 0.44 a
成熟期 Maturing stage	T1	37.0 ± 3.6 e	11.00 ± 1.00 d	16.88 ± 0.17 d	16.12 ± 0.13 b	2.78 ± 0.50 a	9.78 ± 0.32 e
	T2	60.0 ± 2.0 d	17.67 ± 0.58 c	21.67 ± 0.10 c	20.67 ± 0.36 a	2.89 ± 0.21 a	11.97 ± 0.29 d
	T3	106.0 ± 3.6 c	30.67 ± 0.58 a	21.07 ± 0.10 a	20.47 ± 0.49 a	2.89 ± 0.25 a	13.93 ± 0.19 c
	T4	110.3 ± 1.5 b	29.00 ± 1.00 b	20.64 ± 0.16 ab	20.35 ± 0.36 a	3.56 ± 0.56 a	16.87 ± 0.71 b
	T5	125.3 ± 3.8 a	27.67 ± 0.58 b	20.17 ± 0.10 b	19.33 ± 0.65 b	3.33 ± 0.13 a	17.34 ± 0.13 a

注(Note): 同列数据后不同字母表示同一生育期处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters are significant among treatments for the same growth stage at 5% level.

减小; 茎宽则均随土壤含水率的增加而增大。说明当土壤含水率低于作物所需时, 不仅使烟草的生长量显著降低, 而且使其正常发育受到严重影响。可见, 本试验条件下, 土壤含水率在团棵期为 70%~75%, 旺长期为 80%~85%, 成熟期为 60%~65% 是合理的。

2.1.2 不同土壤水分处理对烤烟叶绿素含量的影响

水分亏缺导致光合速率下降, 是干旱状况下作物减产的一个重要原因^[12]; 烟草叶绿素含量对土壤含水率相当敏感, 超过适宜土壤含水率时, 随着土壤含水率增加, 叶绿素含量明显下降^[13-14]。图 1 表明, 团棵期、旺长期和成熟期土壤相对含水率分别为 70%~75%、80%~85% 和 50%~55% 时, 各处理中叶绿素含量最高; Chla 含量、Chlb 含量均表现为旺长期最高, 成熟期次之, 团棵期最低。从整个生育期看, 团棵期至旺长期, Chla、Chlb 含量大幅增加, 旺长期至成熟期, 其含量又逐渐降低。土壤相对含水率在 50%~85% 时, 团棵期、旺长期叶绿素含量基本上是随土壤水分增多而增加, 再增加反而减少; 当土壤相对含水率为 50%~95% 时, 成熟期叶绿素

含量则随土壤水分的增加逐渐减少。

2.2 土壤水分处理对烤烟生物量分配的影响

土壤水分含量较高有利于烟株的生长发育, 而当水分含量较低时, 植株的生长缓慢^[15-16]。由图 2 可知, 随着土壤含水率的增加, 烟草叶、茎生物量显著增加, 各生育期表现出 T1 < T2 < T3 < T4 < T5。随着植株的生长, 各处理水平茎、叶生物量均呈先增后减趋势。旺长期是决定产量和质量的关键时期, 烟株生长旺盛, 干物质积累也最多; 而成熟期由于烟株的营养物大量输送到花蕾部分, 叶、茎获取的营养物质较少而不利于其生物量的增加。由图 2 还看出, 旺长期根干生物量最大, 成熟期次之, 团棵期最低。团棵期根干生物量为 T2 > T3 > T1 > T4 > T5, 旺长期是 T4 > T3 > T5 > T2 > T1; 而在成熟期则随土壤含水率的增加而增大, 这与伍贤进等^[11]和汪耀富等^[17]的研究结果一致。说明本试验土壤相对含水率团棵期为 60%~65%, 旺长期 80%~85% 是合理的。另外, 试验还看出, 土壤相对含水率较低的情况下, 地上部分生物量降低的幅度均大于地下部, 反映了烤烟地上部分与地下部分对水分敏感性不同。

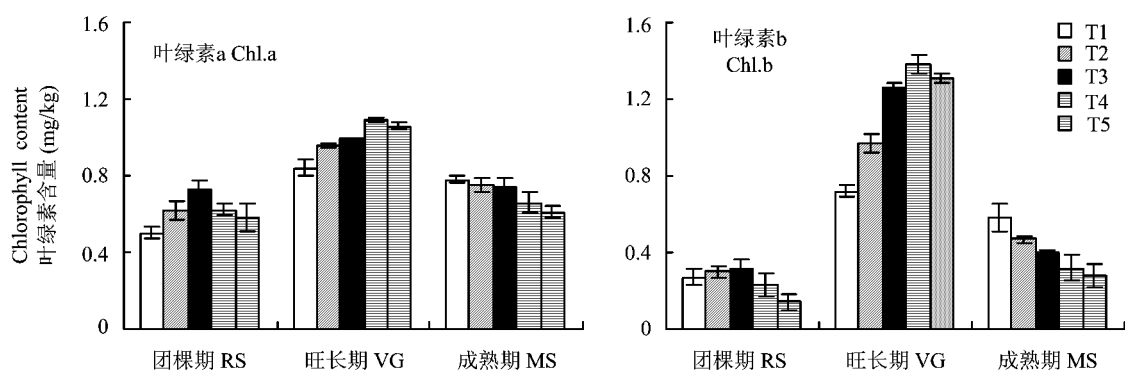


图1 土壤水分处理对叶绿素含量的影响

Fig. 1 The effect of soil moisture contents on contents of chlorophyll

[注(note): RS—Resettling stage; VG—Vigorous growing stage; MS—Maturing stage.]

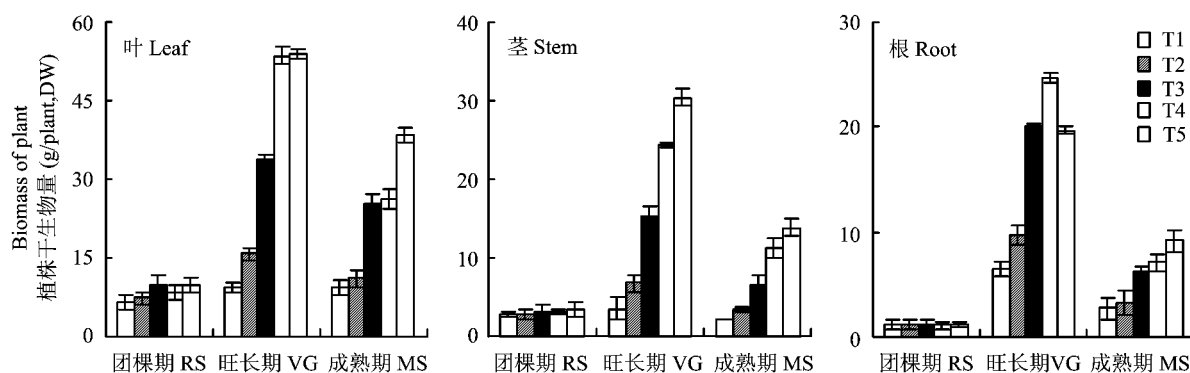


图2 土壤水分处理对植株生物量的影响

Fig. 2 The effect of soil moisture contents on biomass of plant

[注(note): RS—Resettling stage; VG—Vigorous growing stage; MS—Maturing stage.]

根冠比反映了植物地上、地下相互促进,又相互制约的关系,受到植物自身发育特性、水分,矿质营养,光照和温度等的影响^[18]。图3看出,各生育期根冠比均随着土壤含水率的降低而增加。这是由于当土壤缺水时,根系吸收的水分,首先满足自身的需要,很少向上运输,根生长受到的影响相对较小,而地上部分由于水分不足,生长受抑制,因此缺水时,根冠比增大。方差分析表明,不同的土壤水分处理下,团棵期、成熟期除T1和T2与其余处理间根冠比差异达到显著异水平外,其它各处理间均未达显著水平。旺长期T1处理的根冠比较其它处理增加了13.08%、17.10%、36.22%、53.12%。表明土壤含水率的降低促进了光合产物分配到根部,根生物量增加,以适应土壤干旱条件。

2.3 土壤水分状况对烤烟养分吸收的影响

不同生育时期土壤含水率对烤烟养分吸收的测定结果(表2)看出,各时期氮、磷、钾在烟株体内分布均表现为叶>茎>根,这与胡国松等的研究结果一致^[4]。

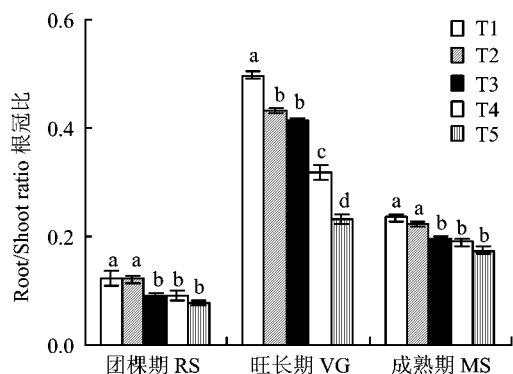


图3 土壤水分处理对根冠比的影响

Fig. 3 The effect of soil moisture contents on root/shoot ratio

[注(note): RS—Resettling stage; VG—Vigorous growing stage; MS—Maturing stage.]

团棵期和成熟期氮、磷在根、茎含量为T2>T1>T3>T4>T5;在叶片则为T3>T2>T1>T4>T5,表明团棵期和成熟期需水量相对较小,土壤相对含水率较低时,烤烟氮、磷营养向根、茎富集的现象。有利于根系生长壮大。烟株团棵期根茎、叶和成熟

期根、茎中钾的含量均表现为 T3 > T4 > T5 > T2 > T1; 而成熟期叶中钾含量表现为 T3 > T2 > T4 > T1 > T5,表明成熟期水分过多或过少,将抑制根的生长,影响烤烟对水分和养分的吸收。旺长期烟株根、

茎、叶中氮、磷、钾的含量表现为 T4 > T5 > T3 > T2 > T1,该时期烟株茎迅速生长,需水量大。综上看出,团棵期、旺长期、成熟期养分吸收的适宜含水率分别为 70%~75%、80%~85% 和 70%~75%。

表 2 土壤水分状况对烤烟养分吸收的影响 (%)
Table 2 Effects of soil water status on nutrient uptake by tobacco

生育期 Growth stage	处理 Treatment	N			P			K		
		根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
团棵期 Resettling stage	T1	3.19 b	3.44 b	3.97 c	0.15 a	0.22 a	0.24 b	1.15 e	1.96 d	3.33 e
	T2	3.48 a	3.55 a	4.87 b	0.17 a	0.29 a	0.34 b	2.17 d	2.54 c	3.60 d
	T3	3.14 b	3.42 b	5.01 a	0.14 a	0.20 a	0.42 a	3.36 a	4.12 a	6.01 a
	T4	2.68 c	3.15 c	3.37 d	0.12 a	0.17 b	0.22 b	2.72 b	2.98 b	5.76 b
	T5	2.26 d	2.34 d	2.87 e	0.11 a	0.15 b	0.17 c	2.51 c	2.61 c	4.94 c
旺长期 Vigorous growing stage	T1	1.06 e	1.21 e	8.82 e	0.12 b	0.13 c	0.76 e	1.32 d	2.41 e	9.37 e
	T2	1.54 d	1.66 d	10.79 d	0.15 b	0.17 c	0.99 d	1.34 d	2.59 d	10.06 d
	T3	1.71 c	1.91 c	11.58 c	0.17 b	0.25 b	1.07 c	1.74 c	2.86 c	10.46 c
	T4	2.65 a	3.06 a	12.91 a	0.32 a	0.35 a	1.30 a	2.19 a	3.37 a	12.67 a
	T5	2.08 b	2.93 b	11.75 b	0.27 a	0.28 b	1.17 b	1.99 b	3.12 b	12.18 b
成熟期 Maturing stage	T1	1.81 a	2.42 b	11.25 b	0.27 a	0.39 b	1.93 c	1.16 c	2.29 e	9.32 d
	T2	1.87 a	2.84 a	12.32 a	0.31 a	0.49 a	2.03 b	1.30 b	2.34 d	10.30 b
	T3	1.77 b	1.92 c	12.37 a	0.25 a	0.31 b	2.25 a	1.45 a	3.32 a	10.73 a
	T4	1.57 c	1.63 d	10.97 c	0.17 b	0.30 b	1.72 d	1.40 a	3.07 b	9.72 c
	T5	1.47 d	1.58 d	10.79 c	0.16 b	0.25 c	1.59 e	1.38 a	2.68 c	8.91 e

注 (Note): 同列数据后不同字母表示同一生育期处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters are significant among treatments for the same growth stage at 5% level.

土壤含水率低于最适宜含水率时,烟株在各生育期对氮、磷、钾养分在根、茎中的分配均有不同程度的提高,但叶中却有所下降。这是由于土壤含水率较低时,烟株蒸腾强度减弱^[19],促进养分向根、茎中积累所致。超过最适含水率时,各时期烟株对养分氮、磷、钾的吸收均随着含水率的增加而降低,主要是由于随着土壤含水率的增加,叶片气孔开度缩小,光合作用下降,蒸腾强度减弱等原因使得烟株对水分和氮、磷、钾的吸收、运输动力不足,造成地上部分水分和养分的亏缺^[20-21]。另外,从团棵期、旺长期至成熟期,烤烟根、茎对氮、磷、钾养分的吸收逐渐降低,而叶中养分急剧增加,养分大量往叶中传送,以氮、钾最为明显,说明旺长期和成熟期与对烤烟产量和品质的形成起了至关重要的作用,此两个时期不宜水分亏缺。在实际栽培过程中,应补给各时期

充足水分,以达到提高养分和水分利用率的目的。

3 讨论与结论

烟株在不同土壤水分条件下,从生理到形态上均表现出较大差异^[2,22]。土壤含水率较低时,烟草的生长量明显变小,发育受到抑制,株高、有效叶数、最大叶长、最大叶宽、茎宽、节间距减小,各构件生物量和总生物量均大幅下降,主根伸长,根冠比增加。地上各构件生物量的下降幅度明显大于地下根生物量的下降幅度,且叶、茎、根生物量的减幅顺序为叶 > 茎 > 根,主要是由于土壤缺水烟叶细胞伸长比细胞分裂受到的影响要大,在水分不足时叶片将停止伸展,但细胞仍然低速分裂^[23]。这个变化趋势同时也反应了烟草对土壤含水率响应的自我调节能力和整体水分运输模式,即在出现土壤水分亏缺时,其光

合产物倾向于向地下部分转移,以保持自身物质和水分平衡,增强自身抗旱能力以适应干旱条件。水分不仅对烟草的叶面积、茎高、茎粗和叶数等有影响,而且良好的水分条件也能改善烟草植株光合特性,促进光合产物的积累和分配^[24]。90%以上的烟草干物质都来自叶片的光合作用^[25],叶绿素含量变化直接影响烟叶进行光合作用,从而影响烟草干物质的质量。另外,团棵期、旺长期和成熟期土壤相对含水率分别为70%~75%、80%~85%和50%~55%时,各处理中叶绿素含量最高。试验结果表明,生物量在旺长期受土壤水分状况影响最大,团棵期、成熟期次之。各生育期根冠比的变化趋势均随着土壤含水率的增加而降低。主要是由于水分过多时,土壤通气状况不好,氧气不足,抑制根的生长发育,而地上部分则由于水分供应充足,生长较好所致^[12]。

各时期氮、磷、钾在烤烟体内分布均表现为叶>茎>根。其中团棵期和成熟期氮、磷在根、茎中的吸收比例为T2>T1>T3>T4>T5处理,在叶中的分配为T3>T2>T1>T4>T5处理;旺长期氮、磷、钾在根、茎、叶中的吸收比较均表现为T4>T5>T3>T2>T1处理;成熟期水分亏缺不利于提高烟叶对钾的吸收,表现为T3>T2>T4>T1>T5处理,且T5处理水分含量过多的情况下对养分的吸收比例显著小于T1。因此,团棵期、旺长期、成熟期养分吸收土壤最适相对含水率分别为70%~75%、80%~85%和70%~75%。

参 考 文 献:

- [1] Yan J Q, Wang J, Tissue D *et al.* Photosynthesis and seed production under water-deficit conditions in transgenic tobacco plants that over express an arabidopsis ascorbate peroxidase gene [J]. *Crop Sci.*, 2003, 43(4): 1477-1483.
- [2] 刘贞琦,伍贤进,刘振业. 土壤水分对烟草光合生理特性影响的研究[J]. *中国烟草学报*, 1995, 2(3): 44-49.
Liu Z Q, Wu X J, Liu Z Y. The effects of soil water content on photosynthetic characteristics of tobacco [J]. *Acta Tab. Sin.*, 1995, 2(3): 44-49.
- [3] 中国农业科学院烟草研究所. 中国烟草栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005.
Tobacco Research Institute of CAAS. Chinese tobacco cultivation [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2005.
- [4] 胡国松,郑伟,王震东,等. 烤烟营养原理[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
Hu G S, Zheng W, Wang Z D *et al.* Principles of tobacco nutrition [M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [5] Porcel R, Gómez M, Kaldenhoff R, Ruiz-Lozano J M. Impairment of *NtAQPI* gene expression in tobacco plants does not affect root colonisation pattern by arbuscular mycorrhizal fungi but decreases their symbiotic efficiency under drought [J]. *Mycorrhiza*, 2005, 15: 417-423.
- [6] 伍贤进. 土壤水分对烤烟产量和品质的影响[J]. *农业与技术*, 1998, 18(2): 3-6.
Wu X J. The effects of soil moisture on yield and quality of flue-cured tobacco [J]. *Agric. Tech.*, 1998, 18(2): 3-6.
- [7] 邹志云,黄丽华,刘铎,等. 不同氮磷钾用量与配比对南雄县烟草产量、质量及气候斑病的影响[J]. *仲恺农业技术学院学报*, 1994, 7(2): 40-46.
Zou Z Y, Huang L H, Liu D *et al.* Effects of amount and ratio of nitrogen phosphate and potassium on yield, quality and weather fleck on tobacco leaves in nanxiong county [J]. *Zhongkai Agrotech. Coll.*, 1994, 7(2): 40-46.
- [8] 杨剑虹,王成林,代亨林. 土壤农化分析与环境监测[M]. 北京: 中国大地出版社, 2008.
Yang J H, Wang C L, Dai H L. Method of analysis in soil and environmental monitoring [M]. Beijing: China Land Press, 2008.
- [9] 李合生. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
Li H S. Experimental technology of plant physiology [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2005.
- [10] 肖金香,许晓利,冯敏玉,李树勇. 土壤水分对烤烟农艺性状产量和叶绿素的影响[J]. *气象与减灾研究*, 2007, 30(1): 48-52.
Xiao J X, Xu X L, Feng M Y, Li S Y. Effect of soil moisture on agronomical characteristics, yield and chlorophyll of flue-cured tobacco [J]. *Meteorol. Disast. Reduc. Res.*, 2007, 30(1): 48-52.
- [11] 伍贤进,白宝璋. 土壤水分对烤烟生理活动和产量、品质的影响[J]. *农业与技术*, 1997, (6): 43-45.
Wu X J, Bai B Z. Effect of soil moisture to physical activity yield and quality of tobacco [J]. *Agric. Tech.*, 1997, (6): 43-45.
- [12] 卢从明,张其德,匡廷云. 水分胁迫对光合作用影响的研究进展[J]. *植物学通报*, 1994, 11(增刊): 9-14.
Lu C M, Zhang Q D, Kuang T Y. Research progress of water stress impact on photosynthesis [J]. *Chin. Bull. Bot.*, 1994, 11(Sup.): 9-14.
- [13] 韩锦锋,汪耀富,丘翠凌,等. 干旱胁迫下烤烟光合特性和氮代谢的研究[J]. *华北农学报*, 1994, 9(2): 39-45.
Han J F, Wang Y F, Qiu C L *et al.* A study on photosynthetic characteristics and nitrogen metabolism in flue-cured tobacco under drought stress [J]. *Acta Agric. Bor.-Sin.*, 1994, 9(2): 39-45.
- [14] 王益奎,李鸿莉,王军,韦建玉. 烟草水分胁迫研究进展[J]. *中国烟草科学*, 2005, (4): 33-36.
Wang Y K, Li H L, Wang J, Wei J Y. Progress of research on water stress in tobacco [J]. *Chin. Tob. Sci.*, 2005, (4): 33-36.
- [15] 刘贯山. 干旱胁迫对烤烟早发的影响[J]. *安徽农业科学*, 1999, 26(3): 274-276.

- Liu G S. Effects of drought stress on the early rapid growth of flue cured tobacco [J]. J. Anhui Agric. Sci., 1999, 26(3): 274-276.
- [16] 左天觉(朱尊权,等译). 烟草的生产、生理和生物化学[M]. 上海:上海远东出版社,1993.
- Zuo T J (Zhu Z Q *et al.* Tans.) Tobacco production, physiological and biochemical [M]. Shanghai: Shanghai Far East Publisher, 1993.
- [17] 汪耀富,阎栓年,于建军,等. 土壤干旱对烤烟生长的影响及机理研究[J]. 河南农业大学学报,1994,28(3): 250-256.
- Wang Y F, Yan S N, Yu J J *et al.* Study on the effects of soil drought stress on the growth of flue-cured tobacco and its mechanism [J]. J. Henan Agric. Univ., 1994, 28(3): 250-256.
- [18] 赵成刚. 根冠比与烟草品质的关系[J]. 科技资讯, 2006, (18): 133.
- Zhao C G. The relations between root-shoot ratio and tobacco quality [J]. Sci. Tech. Inform., 2006, (18): 133.
- [19] 汪耀富,阎栓年,王廷晓,等. 干旱胁迫下烤烟叶片水分代谢研究[J]. 河南农业大学学报,1994,28(1): 50-54.
- Wang Y F, Yan S N, Wang T X *et al.* Study on the water metabolism in flue-cured tobacco leaves under drought stress [J]. J. Henan Agric. Univ., 1994, 28(1): 50-54.
- [20] 官长荣,汪耀富. 淹水胁迫对烤烟生理生化特性的影响[J]. 中国农业科学,1995,28(增刊): 126-130.
- Gong C R, Wang Y F. The effects of waterlogging stress on physiological and biochemical characteristics of flue-cured tobacco [J]. Sci. Agric. Sin., 1995, 28(Sup.): 126-130.
- [21] 刘永贤,曾祥难,周晓,等. 水涝胁迫对烟草生理生化特征影响的研究进展[J]. 广西农学报,2007,22(1): 32-38.
- Liu Y X, Zeng X N, Zhou X *et al.* Research progress of flood menace's impact on tobacco's physiological and biochemical characters [J]. J. Guangxi Agric., 2007, 22(1): 32-38.
- [22] 汪耀富,李广安,张新堂. 不同灌水条件下烤烟耗水特征和用水效率的研究[J]. 中国烟草,1995,(1): 4-8.
- Wang Y F, Li G A, Zhang X T. Study on water consumption characteristics and water use efficiency of flue-cured tobacco under different irrigation [J]. Chin. Tob. Sci., 1995, (1): 4-8.
- [23] 韩锦峰. 烟草栽培生理[M]. 北京:中国农业出版社,1996.
- Han J F. Tobacco cultivation and physiology [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1996.
- [24] 曾群望,杨双兰. 云烟生产的土壤地质背景[M]. 昆明:云南科技出版社,1993.
- Zeng Q W, Yang S L. The soil geology background of produce of clouds [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology press, 1993.
- [25] 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.
- Zhou J H, Zhu X P, Wang Y T *et al.* Physiology and biochemistry of tobacco [M]. Hefei: University of Science Technology of China Press, 1996.
- [26] 姜双林,李政,赵国林. ABT生根粉在半干旱地区烟草上的应用研究[J]. 中国农学通报,2000,16(3): 46-47.
- Jiang S L, Li Z, Zhao G L. Study on applications of ABT on tobacco in semi-arid areas [J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2000, 16(3): 46-47.