

DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2008.06.012

节水灌溉条件下水氮耦合对烤烟生长发育及生理性状的影响

袁有波¹,李继新¹,苏贤坤¹,贾 炜²,邵孝侯²,刘玉青²

(1.贵州省烟草科学研究所,贵州 贵阳 550003;2.河海大学农业工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:以土壤水分下限和施氮量作为控制指标,研究水氮耦合对烤烟生长发育及光合蒸腾的影响.试验结果表明 相同土壤含水率情况下增大氮肥的使用量可以显著增大烤烟的叶面积指数,提高烟株叶面的光合活性,促进烤烟的生长 氮肥的用量还影响到烤烟对水分的吸收,当施氮量为 67.5 kg/hm^2 并且伸根期、旺长期、成熟期的土壤水分控制下限(占田间持水量的百分数)分别为 60%,80% 和 70%时,烤烟能够获得较好的品质和较高的产量.

关键词:烤烟 水氮耦合 施氮量 灌溉下限 光合特性 干物质产量

中图分类号: S572.071 S365 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2008)06-0781-05

增施氮肥能促进烤烟的生长,但也会引起烤烟需水量的增加 灌水量过多,同样会影响烤烟的品质并且造成养分深层渗漏,使地下水受到污染^[1].烤烟生长过程中,氮肥与水分呈现出复杂的耦合关系,确立烤烟适宜的施氮量和灌水量是本文的研究目的.

1 试验材料与方法

1.1 试验场地

试验在南京市蔬菜花卉科学研究所内修建的蒸渗仪内进行,蒸渗仪用水泥、砖块砌成,无底,深 1.2 m,填土 1.0 m,表面积 8 m^2 ,采用塑料大棚进行遮雨.当地年平均降雨量 1106.5 mm,年平均气温为 15.7°C ,最大相对湿度为 81%,最大风速 19.8 m/s ,无霜期 237 d.供试土壤为黄棕壤,质地黏重,有机质质量比为 14.21 g/kg ,pH 值为 5.87,0~60 cm 土壤密度 1.35 g/cm^3 ,0~60 cm 土壤最大田间持水率 28.0% (质量含水率),地下水埋深 10 m.试验烤烟品种为 K326,采用漂浮育苗,移栽日期 2007 年 5 月 3 日,8 月 22 日全部采收结束.

1.2 试验方案

将烤烟的生育期分为 3 个生育阶段,即伸根期(还苗至团棵)、旺长期(团棵至现蕾)、成熟期(现蕾至采收).试验以各生育阶段水分控制下限(占田间持水量的百分数)和施氮量为控制指标,采用双因子多水平交互式试验组合设计.其中水分控制下限为 2 个水平,施氮量为 4 个水平.共设 6 个处理,3 次重复,具体处理见表 1.每个蒸渗仪植烟 12 株,株距 50 cm,行距 120 cm.施肥分为基肥和追肥 2 部分.移栽前施纯氮 45 kg/hm^2 , N , P_2O_5 和 K_2O 之比为 1:2:3,作为基肥一次性施入.在移栽后 20~25 d 按照设计追肥量进行追肥,其中,氮肥用硝酸铵,磷肥用钙镁磷肥,钾肥用硝酸钾.伸根期、旺长期、成熟期计划湿润层深度分别为 20 cm,50 cm 和 30 cm.试验过程中,除施肥和灌水因素外,其他栽培管理措施同一般大田.

1.3 测定项目与方法

- 土壤含水量.烤烟移栽后采用烘干法每 7 d 测 1 次 0~20 cm,20~40 cm 和 40~60 cm 土壤含水量.
- 农艺性状.烤烟移栽后每 7 d 测 1 次烟株的株高、茎围、单株叶面积、叶面积指数等性状.
- 干物质重、产量和根冠比.在烤烟成熟期挖烟,烘箱 80°C 杀青, 60°C 烘干(根茎叶分开),称重,计烟叶产量及根冠比.

收稿日期:2008-01-11

基金项目:贵州省烟草专卖局重大科研项目(2007-05) 国家烟草专卖局资助项目(110200302009)

作者简介:袁有波(1969—),贵州普定人,高级农艺师,主要从事烟草栽培和烟水配套研究.

表 1 试验处理

Table 1 Treatment design for lysimeter experiments

处理序号	水分控制下限 / %			基肥施氮量 / (kg·hm ⁻²)	追氮量 / (kg·hm ⁻²)	总施氮量 / (kg·hm ⁻²)
	伸根期	旺长期	成熟期			
1	60	80	70	45.0	7.5	52.5
2	60	80	70	45.0	15.0	60.0
3	60	80	70	45.0	22.5	67.5
4	60	80	70	45.0	30.0	75.0
5	50	80	65	45.0	7.5	52.5
6	50	80	65	45.0	15.0	60.0

d. 光合特性的测定. 烤烟生长的伸根期、旺长期、成熟期用 LCi—6400 型光合测定仪测定光合速率、蒸腾速率、气孔导度等指标, 光合指标的测定应尽量在相同时段进行. 各个指标的测定应选取有代表性烟株, 并且固定烟株进行测定. 尽量减少人为因素对烟株生长的影响.

e. 烟叶品质测定. 按处理统计烤后烟叶产量, 并根据烤烟 42 级国家标准 (GB 2635—1992《烤烟》) 对烤后烟叶分级, 确定烤烟的产值、均价及上等烟比例.

f. 数据分析. 相关性分析采用 SPSS 统计分析软件.

2 试验结果和分析

2.1 水氮耦合条件下烤烟叶面积指数变化规律

叶面积指数是烤烟群体的总绿色叶面积与该群体所占据的土地面积的比值, 是衡量烤烟群体大小的指标, 叶面积指数的大小影响烟株光合作用的大小并能反映烤烟群体的物质生产能力.

对于烤烟来说, 移栽后会有 5~7 d 的还苗期, 随后是伸根期. 在这期间, 烟株的叶面积变化比较小, 叶面积指数也比较小. 进入旺长期后, 烟株叶面积迅速增大, 叶面积指数也随之增大. 在成熟期, 由于叶片的枯萎, 叶面积和叶面积指数又会有所减小. 本试验的叶面积测定从旺长期开始, 图 1 为烤烟旺长期和成熟期的叶面积指数动态变化曲线. 从图 1 可以看出, 烟株叶面积指数变化可以分为 2 个阶段. 在旺长期 (6 月 3 日至 7 月 10 日), 叶面积指数增长较快, 但是增长速度在逐渐减小. 而且由于施氮量的增大, 处理 2, 3, 4 的叶面积指数大于其他处理, 处理 1, 5, 6 的叶面积指数比较小, 二者差异极显著 ($t = 0.01$). 分析叶面积指数的增长速度, 处理 2, 3, 4 在旺长期初期的增长速度较大, 且无显著性差异; 但在后期, 处理 4 增长速度明显大于其他处理 ($t = 0.01$). 而处理 1, 5, 6 的叶面积指数较小, 处理 1 和 5 大小差异不大, 处理 6 大于其他 2 个处理 ($t = 0.05$). 叶面积指数大小顺序 (从大到小) 为: 处理 4、处理 3、处理 2、处理 6、处理 1、处理 5.

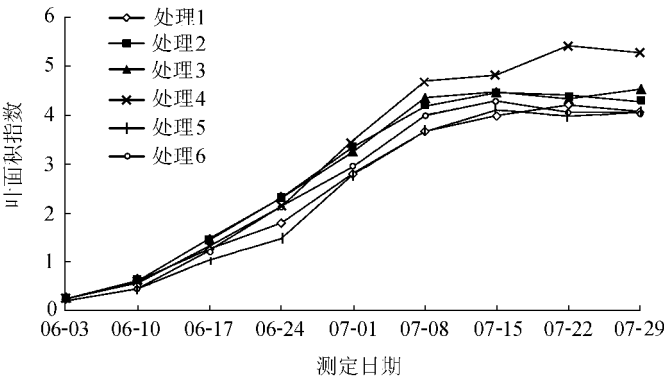


图 1 烤烟叶面积指数变化曲线

Fig.1 Change of leaf area index of flue-cured tobacco

在成熟期 (7 月 15~29 日), 叶面积指数基本上不再增长, 并且在一定程度上有所减小, 这是因为在烤烟的成熟期, 烟叶基本上停止生长, 同时由于部分烟叶的枯萎, 叶面积在一定程度上会减小, 但幅度很小. 最终叶面积指数处理 2, 3, 4 大于其他处理 ($t = 0.01$), 其中处理 4 为最大. 从图 1 还可以发现, 氮肥对烤烟的叶片生长有显著的促进作用, 相同水分控制下限情况下, 处理 4 叶面积指数明显大于处理 1, 2, 3 ($t = 0.01$). 处理 1

和处理 5 施氮量相同,而水分控制下限不同,发现处理 1 的叶面积指数要大于处理 5,这是因为伸根期处理 1 的水分控制下限高于处理 5,处理 5 因初期经历了适度干旱,促进了烤烟根系的发育,旺长期恢复正常供水后,叶面积指数迅速增加,达到并超过了处理 1 的水平($t = 0.05$).在成熟期由于灌水量的减少,处理 5 的叶面积指数略有下降,最终与处理 1 水平相当.以上结果表明了烤烟和一些作物一样,在长期的进化过程中,产生了对水分暂时亏缺的适应性与补偿性^[2].

对各处理烤烟叶面积指数进行统计分析,发现叶面积指数的增长符合 Logarithmic 函数.利用回归分析,建立叶面积指数 A_{LAI} 随移栽后周数 w 增长模型: $A_{LAI} = a + b \ln w^{-4}$,其中, $w = 5, 6, \cdots, 13$,代表叶面积指数的测量从移栽后第 5 周开始,该模型适用于移栽后第 6 周以后的叶面积指数预测, a 代表伸根期叶面积指数的大小,负号只代表大小关系; b 代表叶面积指数的增长速度.表 2 列出了用 Logarithmic 函数模拟叶面积指数随时间的变化规律.从表 2 可以看出,所建立的模型与测定数据的相关系数极大,都达到了显著正相关.观察模型对于各处理所得系数之间的关系,看出处理 1,2,3,4 之间的增长系数 b 和常数项是逐渐增大的,而处理 5 和 6 的增长系数也呈现增大趋势,且都小于处理 2,常数项则呈现减小趋势.由此可以得出如下结论:在伸根期,处理 1,2,3,4 的叶面积指数的大小是随施氮量的增加而减小的,而处理 5 和 6 的叶面积指数随施氮量的增加逐渐增大,在旺长期以及成熟期,叶面积指数的增长速率是随施氮量的增加而增大的,相同施氮量情况下,水分控制下限减小,增长速率明显减小.

2.2 水肥耦合条件下烤烟光合指标变化规律

旺长期是烤烟生长最为迅速的时期,其光合指标能够直观地反映烤烟的生化水平.表 3 为不同处理烤烟旺长期光合指标情况,由表 3 可以看出,不同处理间随施氮量的增加,气孔导度、光合速率和蒸腾速率皆呈现上升趋势,当施氮量超过 67.5 kg/hm^2 时,则呈现下降趋势.如处理 3 的蒸腾速率为 $3.39 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比处理 1 的 $2.66 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 高出了 27%,比处理 4 的 $3.06 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 高出了 11%.处理 3 的光合速率为 $14.23 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比处理 1 的 $12.31 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 高出了 16%,比处理 4 的 $12.91 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 高出了 10%.处理 3 的气孔导度 $0.44 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,比处理 1 的 $0.25 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 高出了 76%,比处理 4 的 $0.33 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 高出了 33%,它们之间差异达极显著水平($t = 0.01$).这是由于烤烟旺长期代谢活动旺盛,消耗水量较大,80%的水分控制下限仍不能完全满足其需水要求.同时受到水氮耦合效应的影响,其光合作用和蒸腾作用皆显现出施氮的阈值效应,即在一定施氮量范围内,光合作用和蒸腾作用随施氮量的增加而增强,超过阈值,光合作用和蒸腾作用都受到一定程度的抑制,烤烟的代谢活动减弱.

表 2 叶面积指数随时间变化的 Logarithmic 模型

Table 2 Logarithmic model for change of leaf area index with time

处理序号	数学模型	相关系数 r^2
1	$A_{LAI} = -0.423 + 2.028 \ln w^{-4}$	0.912
2	$A_{LAI} = -0.420 + 2.262 \ln w^{-4}$	0.917
3	$A_{LAI} = -0.437 + 2.302 \ln w^{-4}$	0.915
4	$A_{LAI} = -0.844 + 2.761 \ln w^{-4}$	0.896
5	$A_{LAI} = -0.599 + 2.117 \ln w^{-4}$	0.876
6	$A_{LAI} = -0.501 + 2.174 \ln w^{-4}$	0.901

表 3 不同处理烤烟旺长期光合指标情况

Table 3 Photosynthetic indices of flue-cured tobacco at vigorous growing stage for different treatment schemes

处理 序号	蒸腾速率/ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	气孔导度/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光合速率/ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	2.66	0.25	12.31
2	2.86	0.28	13.82
3	3.39	0.44	14.23
4	3.06	0.33	12.91
5	2.82	0.26	13.92
6	3.12	0.30	14.00

一些研究也指出,在不同水分条件下,施肥会增加气孔导度和叶肉细胞 CO_2 同化能力,尤其能使光合活性增强,从而提高光合速率^[3],并增加植株蒸腾量,减少土壤水分蒸发量^[4].在相同土壤水分情况下随着施氮量的增加,烤烟各光合指标明显呈现出增加的趋势,但过高的施氮量反而会降低烤烟的光合水平.

2.3 水氮耦合对烤烟成熟期干物质累积、根冠比和烟叶品质的影响

根冠比是反映根系和地上部生长协调的重要指标.增加氮肥等营养元素,能够补偿水分胁迫作用下作物表现出的叶面积小、生长缓慢和产量降低等不良效应,促进干物质生产^[5-6],而不同土壤水分状况下施肥对地下部根系发育的作用效果亦不同^[7].表 4 为不同水氮处理下烤烟成熟期干物质累积量、根冠比和品质.从表 4 可以看出,相同水分控制条件下,在 $52.5 \sim 67.5 \text{ kg/hm}^2$ 施氮量范围内,随着施氮量的增加,烤烟干物质总量、地上部干重、地下部干重和上中等烟比例一般呈现出增加的趋势,但增加的幅度逐渐减小.相同的施氮量

情况下,增加灌水可以显著促进干物质的累积,如表4中处理1和2的干物质累积量要大于处理5和6.从表4还可以看出,过量的氮肥虽然能促进烤烟烟叶的生长,但会造成总的干物质累积量的下降,如处理4.根冠比则一般随着施氮量的增加而减小,说明施氮对烤烟地上部的生长促进作用大于对根系的促进作用.另外处理5和6的根冠比要大于处理1和2的根冠比,这也证明了烤烟生育前期经历适度的干旱能够促进烤烟根系的生长发育,提高烤烟的抗旱性.这与土壤水分状况直接影响根的数量和体积,包括根密度、根冠比以及在二维空间上的根长、伸展、根内水流动的变化等的研究结果吻合^[8-9].

表4 烤烟成熟期干物质累积、根冠比和品质

Table 4 Dry matter accumulation, root-shoot ratio and quality of flue-cured tobacco at maturing stage

处理序号	干物质总量/(kg·hm ⁻²)			地上部干重/(kg·hm ⁻²)	根冠比	中上等烟比例/%
	根	茎	叶			
1	1 000.6	1 655.6	3 041.7	4 697.3	0.213	85.6
2	1 063.2	1 802.0	3 219.3	5 021.3	0.212	86.6
3	1 086.9	1 792.0	3 434.2	5 226.2	0.208	87.3
4	1 009.5	1 696.0	3 460.0	5 156.0	0.196	64.7
5	904.0	1 415.0	2 692.5	4 107.5	0.220	74.8
6	986.0	1 496.4	3 108.8	4 605.2	0.215	75.4

在一定范围内增加氮肥的施用量可以提高中上等烟的比例,但过量的氮肥反而会降低中上等烟的比例,如处理4.在轻度干旱的情况下,处理6要比处理5的中上等烟比例高,说明增加氮肥的施用量有助于烤烟叶片保持较高的水分含量,改变其受干旱胁迫的程度,能够在一定程度上降低由于干旱造成的损失.由此可见,水分在水氮耦合中占有更重要的地位,是烤烟生长的决定性因素.因此,在烤烟的旱地生产中,要合理搭配氮肥的施用量和灌水量,以充分发挥肥效和提高水分利用率.由于本试验的水氮耦合处理数较少,有关烤烟的最佳施氮量与灌水量还有待于进一步研究.

3 结 语

矿质养分和水分是调控烤烟生长发育、烟叶产量和品质的主要措施,烤烟所需各种养分和水分的供应直接决定着烟株的营养状况和烟叶的产量品质^[10-11].氮素营养明显促进了烤烟地上部和地下部的生长,增加了地上部和地下部的绝对干重,但无论是正常供水还是干旱胁迫,低施氮处理的根冠比值都要大于高施氮处理,施氮对地上部的促进作用要大于对地下部的促进作用.

本文初步的试验结果表明,相同土壤含水率情况下增大氮肥的施用量可以显著增大烤烟的叶面积指数,提高烟株叶面的光合活性,促进烤烟的生长;当施氮量超过67.5 kg/hm²时,光合指标呈现减小趋势.随施氮量的增加,烤烟干物质总量、地上部和地下部干重增加,根冠比则随施氮量的增加而逐渐减小.在相同水分控制下限条件下,适量氮肥可以提高中上等烟的比例.在相同的氮肥条件下,存在轻度干旱的处理其中上等烟比例有一定程度的下降.本文的初步结论如下:当施氮量为67.5 kg/hm²并且伸根期、旺长期、成熟期的土壤水分控制下限(占田间持水量的百分数)分别为60%,80%和70%时,烤烟能够获得较好的品质和较高的干物质产量.

氮肥对烤烟产量与品质有显著影响,并且在土壤水分亏缺或过高条件下可调控烟株的生长状况,提高产量,改善烟叶品质,达到以肥调水、以肥促水的目的.在今后研究中,应进一步研究水分逆境(如干旱、土壤渍水、肥料亏缺或过多等)条件下氮肥供应对烟草品质与产量的影响,这对于不同生态条件下烟草的生产具有重要意义.

参考文献:

[1] 郭大应,熊清瑞,谢成春,等.灌溉土壤硝态氮运移与土壤湿度的关系[J].灌溉与排水,2001(2):66-68.
[2] 阿吉·艾克拜尔,邵孝侯,钟华,等.调亏灌溉及其对烟草生长发育的影响研究[J].河海大学学报:自然科学版,2006,34(2):171-174.
[3] 张雷明,杨君林,上官周平.旱地小麦群体生理变量对氮素供应量的响应[J].中国生态农业学报,2003(3):63-65.
[4] 张仁陟,李小刚,胡恒觉.施肥对提高旱地农田水分利用效率的机理[J].植物营养与肥料学报,1999(3):223-226.

[5] 张岁岐,李秧秧. 施肥促进作物水分利用机理及对产量的影响研究[J]. 水土保持研究,1996(1):185-191.
[6] 汪德水. 旱地农田肥水协同效应与耦合模式[M]. 北京:气象出版社,1999.
[7] 张立新,吕殿青,王九军,等. 渭北旱塬不同水肥配比冬小麦根系效应的研究[J]. 干旱地区农业研究,1996(4):25-31.
[8] 王海艺,韩烈保,黄明勇. 干旱条件下水肥耦合作用机理和效应[J]. 中国农学通报,2006(6):124-128.
[9] 汪耀富,张福锁. 干旱和氮用量对烤烟干物质和矿质养分积累的影响[J]. 中国烟草学报,2003(1):20-24.
[10] 王军,王益奎,李鸿莉,等. 水分胁迫对烟草生长发育的影响研究进展[J]. 广西农业科学,2004(6):440-442.
[11] 李继新,袁有波,苏贤坤,等. 土壤水分对烤烟耗水特征及烟叶产量和品质的影响[J]. 河海大学学报:自然科学版,2008,36(4):520-524.

Effect of coupling of water and nitrogen on growth, development and physiological indices of flue-cured tobacco under water saving irrigation conditions

YUAN You-bo¹, LI Ji-xin¹, SU Xian-kun¹, JIA Wei², SHAO Xiao-hou², LIU Yu-qing²

(1. Tobacco Science Research Institute of Guizhou Province, Guiyang 550003, China ;
2. College of Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract : Lysimeter experiments were performed to study the effect of the coupling of water and nitrogen on the growth, development and photosynthetic transpiration of flue-cured tobacco by controlling the lower limit of soil moisture and nitrogen application amount. The test results show that the increase of the dosage of nitrogen fertilizer can significantly increase the leaf area index of the flue-cured tobacco, raise the photosynthetic activity of the leaves and promote its growth under the same soil water content ; the dosage of nitrogen fertilizer can also affect the water absorbing of the flue-cured tobacco. When the nitrogen application amount is 67.5 kg/hm² and the lower limit (percentage of farmland water content) of the relative soil water content at the root extending stage, the vigorous growing stage and the maturing stage is 60%, 80% and 70%, respectively, the higher yield and better quality of the flue-cured tobacco will be achieved.

Key words : flue-cured tobacco ; coupling of water and nitrogen ; nitrogen application amount ; lower limit of irrigation ; photosynthetic activity ; dry matter yield

《Water Science and Engineering》征订启事

《Water Science and Engineering》(WSE,水科学与水工程)是由河海大学创办的具有鲜明水科学与水工程特色、以水问题相关理论和实践为论述主题的英文学术期刊.WSE 创刊于 2008 年,每季末月 30 日出版,B5 开本,彩色印刷,每期 120 页,国内外公开发行,国际标准连续出版物号 :ISSN 1674-2370,国内统一连续出版物号 :CN32-1785/TV.

WSE 主要刊登水科学研究、水工程建设、水资源保护、水生态修复等方面原创性研究(技术)论文,着重报道关于地球水圈研究的新事实、新概念、新理论、新方法 ;交流在江河治理、跨流域调水、水电能源、生态修复等水工程建设中的新技术和新经验以及国内外相关学术会议及技术交流等动态信息.主要读者对象是与水科学研究和水工程建设有关的国内外科研人员、工程技术人员以及高校师生等.

WSE 每期定价 50 元,全年 200 元(含邮费).本刊自办发行,订阅本刊可直接与编辑部联系.
编辑部地址 :210098 南京市西康路 1 号 河海大学《Water Science and Engineering》编辑部
电话/传真 :025-83786363
邮箱 :wse@hhu.edu.cn
网址 :http://kbb.hhu.edu.cn/wse/index_wse.htm