

膜下滴灌棉花氮素推荐施肥模型的研究

潘薇薇¹, 危常州^{1,2*}, 丁琼¹, 符静¹, 张永帅¹

(1 石河子大学农学院 新疆石河子 832000; 2 石河子大学新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室 新疆石河子 832000)

摘要: 研究应用叶绿素仪 (SPAD-502) 在膜下滴灌条件下的棉花氮肥推荐。试验于 2006 年在石河子乌兰乌苏农业气象实验站进行, 以新陆早 24 为材料。结果表明, 不同叶位的叶片含氮量、SPAD 值及叶片不同部位的 SPAD 值存在明显差异, SPAD 值与叶绿素含量、叶片含氮量、单株吸氮量等均有较好的相关性; 倒四叶的叶尖部位适合作为测试部位。盛蕾期、花期、盛花期和铃期倒四叶 SPAD 值与施氮量之间呈极显著线性相关; 各生育期 SPAD 值与产量也具极显著相关。滴灌条件下最高籽棉产量为 4686.5 kg/hm², 对应的施肥量为 293.1 kg/hm²; 最大利润(经济最佳)施肥量为 207.33 kg/hm², 对应的最佳产量为 4565.9 kg/hm²。各生育期 SPAD 的临界值分别为 60.5、60.0、60.8 和 59.1。盛蕾期、花期、盛花期和铃期 SPAD 值每变动一格推荐施肥量分别为 10.81、8.46、13.42 和 6.29 kg/hm²。

关键词: 棉花; 膜下滴灌; 不同叶位 SPAD 值; 氮肥推荐模型

中图分类号: S562.062

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2009)01-0204-07

Nitrogenous fertilizer recommendation model for cotton under mulch-drip irrigation

PAN Wei-wei¹, WEI Chang-zhou^{1,2*}, DING Qiong¹, FU Jing¹, ZHANG Yong-shuai¹

(1 College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China;

2 Key Laboratory of Oasis Ecological Agriculture of Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: Nitrogen recommendation for cotton under the mulch-drip irrigation condition was explored based on the measurements using chlorophyll meter (SPAD-502). Field experiment was conducted at Wulanwusu Agricultural Meteorological Experiment Station, Shihezi, Xinjiang, China, during the 2006 cotton growing seasons. The adopted cotton variation was Xinluzao 24. The results showed that leaf nitrogen contents and SPAD value varied markedly in different leaf position. Significant correlation was found between SPAD and leaf chlorophyll concentration, N concentration in leaf or N absorbed content. The leaf tip position of the reverse 4th leaf from the apex of the main stem is the best measuring position because of the small deviation of measurement value. There were significant linear correlation between SPAD value and the rate of applied nitrogenous fertilizer at budding peak stage, flowering stage, flowering peak stage and bolling stage. A significant correlation between SPAD value and the cotton yield was detected as well. The highest link yield was 4686.5 kg/ha, correspondingly, the optimal nitrogenous fertilizer rate was 293.1 kg/ha under the experimental management scenario. The most profitable N rate was 207.33 kg/ha and the economic yield was 4565.9 kg/ha. The critical SPAD value at the budding peak stage, flowering stage, flowering peak stage and bolling stage were 60.5, 60.0, 60.8 and 59.1 respectively. A statistic model was evaluated for N fertilizer recommendation in cotton cultivation under drip irrigation with film mulch, the recommended N fertilizer rate is 10.81, 8.46, 13.42, and 6.29 kg/ha at budding peak stage, flowering stage, flowering peak stage and bolling stage for unit change of SPAD value.

Key words: cotton; under mulch-drip irrigation; SPAD value; N recommendation model

收稿日期: 2007-11-07 接受日期: 2008-05-09

基金项目: 农业部“948”重大专项(2006-C60); 国家自然科学基金(30560069)资助。

作者简介: 潘薇薇(1983—), 女, 新疆人, 硕士研究生, 主要从事作物营养与施肥方面的研究。

* 通讯作者 Tel: 0993-2058227, E-mail: changzhou.wei@gmail.com

叶绿素仪 SPAD-502 (Chlorophyll meter, Minolta 公司生产)是近年来欧美一些国家在推荐施用氮肥中使用的一种新型便携式仪器。这种仪器以叶绿素对红光和近红外光的不同吸收特性为原理,可快速、无损地测定植物叶片的叶绿素相对含量,通过叶绿素含量与叶片全氮量的关系来反映作物的氮营养状况,进而确定作物是否缺氮。在水稻氮肥推荐及棉花、小麦和玉米等多种作物上都进行了应用性研究^[1-6]。

在新疆棉花膜下滴灌栽培模式下,采用灌溉施肥使氮肥后移可以大幅度提高氮素利用率,并且提高产量。但快速、准确的棉花氮素实时监测技术是这一技术广泛应用的前提。目前,采用 SPAD 进行作物氮素营养诊断,已有 Peng 等^[7]使用 SPAD 临界值 35 确定水稻 IR72 品种的施氮量;吴良欢等^[8]认为籼稻分蘖盛期和幼穗分化期的标准 SPAD 值分别为 43.4 和 44.3,粳稻分别为 45.5 和 46.7,为 SPAD 进行新疆膜下滴灌棉花氮素营养诊断提供了一定的理论依据。

但 SPAD 读数受测定叶位和测定叶片的位点因素的影响进而会影响其诊断精度^[9-10]。因此克服这些因素对 SPAD 读数的影响,提高诊断精度是亟需研究的问题。李志宏^[11]等研究表明,夏玉米在同一叶片不同位置测定结果有明显差异,认为在从叶基部开始的 40%~70% 区域测定为宜。棉花主茎叶片

不同叶位的叶绿素含量存在差异,在盛蕾期和盛铃期两个生育时期均以中部叶(倒 4 叶和倒 5 叶)含量最高,后向两端降低^[12]。

为此,我们通过田间试验研究了新疆棉花膜下滴灌栽培模式下的不同叶位 SPAD 值的分布特征,并对不同叶位的 SPAD 值与叶绿素含量、叶片含氮量、单株吸氮量、施氮量和产量之间的相关性进行了分析,建立推荐施肥模型,确定棉花各生育期追肥量,以期为新疆棉花膜下滴灌栽培模式下氮素营养诊断提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2006 年在石河子乌兰乌苏农业气象试验站进行。试验田土壤有机质含量 15.97 g/kg、全氮 0.627 g/kg、速效氮 16.5 mg/kg、速效磷 15.4 mg/kg、速效钾 243 mg/kg。供试棉花品种为新陆早 24 号。

试验设 5 个氮素处理,即:施 N 0、135、270、305、440 kg/hm²(其中 270 kg/hm²为大田水平),分别以 N0、N1、N2、N3、N4 表示,完全随机设计,重复 3 次。小区宽 5.4 m,长 15 m。试验采用覆膜栽培,膜下滴灌,肥料采用灌溉施肥的方法施入(即膜下滴灌),总灌溉量为 3900 m³/hm²,棉花按丰产田管理。播种方式为干播湿出,水和肥的分配比例见表 1。

表 1 水和肥分配比例

Table 1 Method of water and nitrogen distribution

项目 Items	合计 Total	灌溉次数 Irrigation times										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
灌溉占总量的百分数(%) Irrigation(% of total amount)	100	5	8	12	15	18	12	8	7	6	5	4
氮肥占总量的百分数(%) N fertilizer(% of total fertilization)	100			10	15	20	30	15	10			

1.2 调查项目与方法

SPAD 值的测定:在施 N 270 kg/hm²水平下,选择长势均匀的 10 株分别按叶片部位 1(左)部位 2(上)部位 3(右)3 个不同部位(图 1)及不同叶位倒一、倒二、倒三、倒四叶测定 SPAD 值。棉花打顶前,采用日本生产的 SPAD 叶绿素仪测定功能叶片 SPAD 值(倒四叶),打顶后对倒一叶进行测定^[13]。测定时各小区选取长势均匀的 30 株进行测定,取叶片的左部、右部和尖部的平均值,避开叶脉。

叶绿素和全氮含量的测定:将测定过 SPAD 的

叶片摘下并立即保鲜,沿主脉取一半叶片采用化学方法(丙酮:乙醇 = 1:1 混合)提取叶绿素,利用 722 分光光度计比色,测定叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总量。将另一半叶片烘干、制样,以 H₂SO₄-H₂O₂ 法消化,在 BUCHI-350 全自动凯氏定氮仪上测定叶片含氮量。

在棉花出苗后分试验小区取样,在棉花的各主要生育期进行取样,每个小区选取有代表性的棉株 3 株,按茎、叶、蕾铃等不同器官分样,在 105℃ 下杀青 30min,75℃ 烘至恒重,测定其干物质重,粉碎,在

BUCHI-350 全自动凯氏定氮仪上测定各器官的全氮含量 根据各器官的干物质重计算棉花单株氮素累积量。

产量测定:8月进行测产,10月进行实收,称量并记录小区各次收获的籽棉产量。

统计分析和绘图运用 Excel 2003 和 SPSS1 3.0

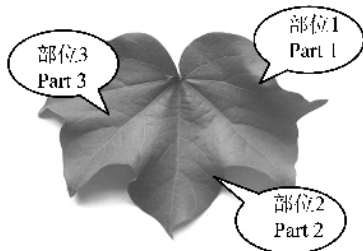


图 1 测定 SPAD 值的叶片部位

Fig.1 The site of leaf for SPAD value determined

进行。

2 结果与分析

2.1 膜下滴灌棉花叶片不同部位 SPAD 值分布特点及与叶绿素的关系

膜下滴灌棉花叶片的不同部位的 SPAD 值存在差异(表 2)。部位 2 与部位 1 和部位 3 在盛花期和铃期差异显著,其中在铃期差异达到极显著性。部位 2 的 SPAD 值变异系数较其它两个部位小,测定值相对稳定。表 3 看出,叶片的不同部位的 SPAD 值与叶片叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量均存在极显著正相关关系,且以部位 2 表现最佳。根据这些结果,我们在利用 SPAD 进行膜下滴灌棉花氮素营养诊断时,选择的最佳叶位是倒四叶,叶片最佳部位是部位 2,即叶片的尖部。

表 2 叶片不同部位 SPAD 值的分布

Table 2 SPAD value in leaf of different site

部位 Site	盛花期 Flowering peak stage			铃期 Bolling stage		
	平均值 Mean	标准差 Sd	变异系数 CV(%)	平均值 Mean	标准差 Sd	变异系数 CV(%)
部位 1 Site 1	48.29 bB	2.92	6.1	49.38 bA	3.28	6.6
部位 2 Site 2	51.32 aA	2.81	5.5	52.60 aA	3.03	5.8
部位 3 Site 3	48.68 bAB	2.91	6.0	49.93 bA	3.50	7.0

注(Note):不同大、小写字母分别表示差异达 1%和 5%显著水平,下同 Different capital and small letters mean significant at 1% and 5% levels, respectively. The same below.

表 3 叶片不同部位 SPAD 值与叶绿素含量的相关系数

Table 3 Correlation between the SPAD value and chlorophyll concentration

部位 Site	盛花期 Flowering peak stage			铃期 Bolling stage		
	叶绿素 a Chl. a	叶绿素 b Chl. b	总叶绿素 Total Chl.	叶绿素 a Chl. a	叶绿素 b Chl. b	总叶绿素 Total Chl.
部位 1 Site 1	0.7274**	0.6777**	0.7956**	0.6276**	0.6756**	0.6972**
部位 2 Site 2	0.7523**	0.6436**	0.7972**	0.7910**	0.6310**	0.7914**
部位 3 Site 3	0.6812**	0.6087**	0.7335**	0.7698**	0.6440**	0.7821**

n = 28 $P_{0.05} = 0.367$ $P_{0.01} = 0.470$

2.2 膜下滴灌棉花不同叶位 SPAD 值和叶片含氮量的分布特点

在同一肥力水平下,棉花花期不同叶位的叶片含氮量存在明显差异。倒四叶 > 倒三叶 > 倒二叶 > 倒一叶;倒一叶与倒四叶差异达到了极显著水平(表 4)。说明选择固定的叶位是成功利用 SPAD 进行氮素营养诊断的前提。

表 4 还看出,相同肥力水平下,同一品种不同叶

位的 SPAD 值也存在差异,大小顺序与不同叶位的叶片含氮量表现一致。倒一叶与倒四叶差异达到了极显著水平,其差值达到 8 个 SPAD 单位。表明用叶片 SPAD 值的大小来评价棉花氮的营养状况需要确定准确的叶位。倒四叶的 SPAD 值的变异系数是最小的,SPAD 值相对比较稳定;倒一叶则相反,说明棉花新叶的 SPAD 不是很稳定,不宜选择为测定叶位。

表 4 不同叶位 SPAD 值和叶片含氮量的分布

Table 4 SPAD value and N concentration in four top leaves on main stem

叶位 Leaf position	SPAD 值 SPAD value			叶片含氮量(%) N concentration in leaf
	平均值 Mean	标准差 Sd	变异系数 CV(%)	
倒一叶 SL1	54.8 cC	3.47	6.4	3.99 cC
倒二叶 SL2	59.2 bB	3.48	5.9	4.27 bBC
倒三叶 SL3	61.0 abAB	3.32	5.4	4.49 abAB
倒四叶 SL4	62.8 aA	3.38	5.3	4.69 aA

注(Note): SL1、SL2、SL3、SL4 分别为倒一叶、倒二叶、倒三叶、倒四叶,下同。SL1、SL2、SL3、SL4 mean the reverse 1st、2nd、3rd、4th leaf from the apex of the main stem. The same below.

2.3 膜下滴灌棉花不同叶位 SPAD 值与叶绿素含量、叶片含氮量、植株全氮含量和单株吸氮量的相关性分析

表 5 表明,各叶位的 SPAD 值与叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量均呈正线性关系,即随着 SPAD 值的增加叶绿素含量增加,说明 SPAD 值能够反映叶绿素含量水平。各叶位 SPAD 值与叶绿素 a、叶绿素总量达极显著相关;与叶绿素 b 相关性较差。其中

以倒四叶相关性较好,可以根据倒四叶的 SPAD 值估测棉花叶片叶绿素含量的高低。

各叶位的 SPAD 值与叶片含氮量也存在极显著的线性相关关系;其中以倒四叶的相关性最高。SPAD 值与植株全氮含量、单株吸氮量的相关性只有倒三叶和倒四叶达到显著以上水平,能够反映棉花植株的整体氮素水平和氮的吸收情况。

表 5 不同叶位 SPAD 值与叶绿素含量、叶片含氮量、植株全氮含量和单株吸氮量的相关系数

Table 5 Correlation between the SPAD value and chlorophyll and N content in leaves, plant total N and N absorbed by plant

叶位 Leaf position	叶绿素 a Chl. a	叶绿素 b Chl. b	总叶绿素 Total Chl.	叶片含氮量 N content in leaf	植株全氮 Plant total N	单株吸氮量 N absorbed per plant
倒一叶 SL1	0.8365**	0.7680**	0.8284**	0.7794**	0.3643	0.1673
倒二叶 SL2	0.6848**	0.4391	0.7428**	0.6637**	0.4502	0.1766
倒三叶 SL3	0.7128**	0.6573**	0.7703**	0.6503**	0.8619**	0.6322**
倒四叶 SL4	0.8527**	0.6932**	0.8627**	0.8850**	0.9109**	0.9168**

n = 14, P_{0.05} = 0.514, P_{0.01} = 0.641

2.4 各生育期倒四叶 SPAD 值与施氮量的关系

图 2 看出,膜下滴灌棉花盛蕾期、花期、盛花期和铃期,随着氮肥用量的增加,倒四叶 SPAD 值均呈现出线性增加的趋势;其中以花期和盛花期的相关性更显著,并且同一处理各重复间的 SPAD 值更稳定。在盛蕾期不施肥处理的 SPAD 值稳定性较差,这是地力、水分分布不均造成棉花长势不一致所致;灌溉后稳定性有所提高。理论上棉花叶片的 SPAD 值与累积施氮量的相关性最好,但在本试验中 SPAD 值与测定前的施氮量相关性最好,因此,建议采用各生育期 SPAD 值与前一次的施氮量进行推荐施肥。

2.5 各生育期倒四叶 SPAD 值与棉花产量的关系

膜下滴灌棉花盛蕾期、花期、盛花期和铃期倒四叶 SPAD 值和产量之间表现为二次曲线模型,相关性达到极显著水平(图 3)。即随着 SPAD 值的增加,膜下滴灌棉花盛蕾期、花期、盛花期和铃期倒四叶

SPAD 值和产量之间表现为二次曲线模型,相关性达到极显著水平(图 3)。即随着 SPAD 值的增加,产量也增加;但当 SPAD 值达到一定值时,产量增加缓慢或略有下降。试验结果表明,盛蕾期、花期和盛花期 SPAD 值在 60~61 范围时,产量增加缓慢;而在铃期 SPAD 为 59 时,出现增加缓慢的趋势,表明在棉花这一时期对养分需求较小。

2.6 最大利润(经济最佳)产量的确定

在滴灌棉田不同氮肥条件下,棉花产量以常规氮肥处理最高,用一元二次方程对棉花全生育期不同施氮量的总的氮肥效应进行拟合,得出全生育期总施肥量与棉花产量的相关关系(图 4)。

对该方程式求偏导,得到最高产量为 4686.5 kg/hm²,对应的施肥量为 293.1 kg/hm²。293.1 kg/hm²为全生育期总施氮量,可以作为追肥总量的参考。

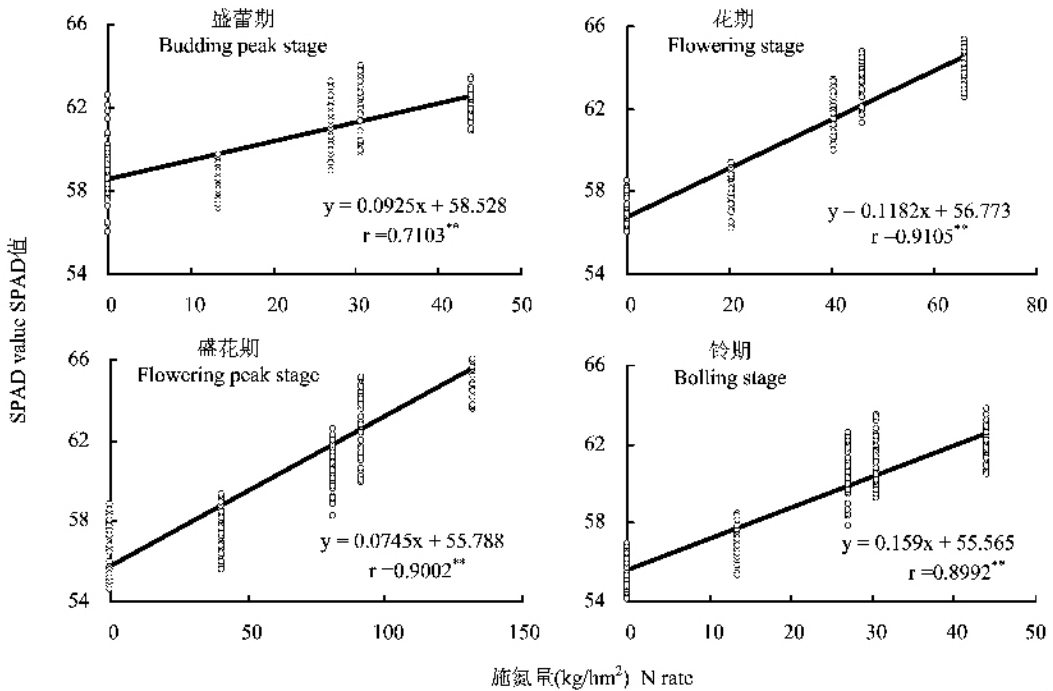


图 2 棉花各生育期 SPAD 值和施氮量之间的关系

Fig. 2 Relationship between SPAD value and the N fertilizer rate at different cotton growth stages
($n = 200$, $P_{0.05} = 0.138$, $P_{0.01} = 0.181$)

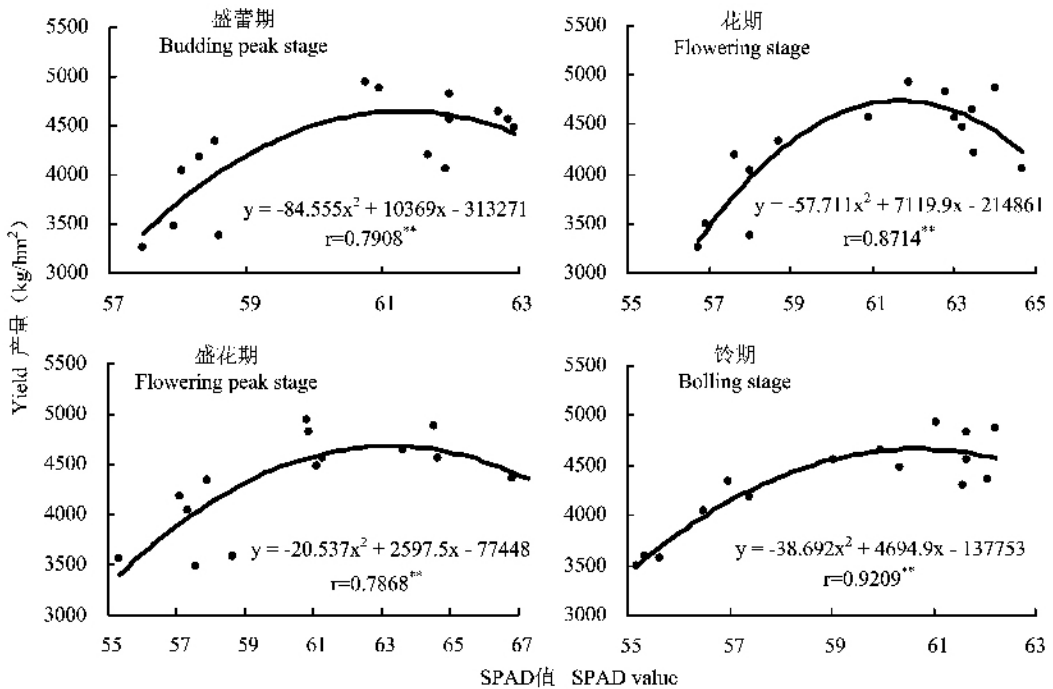


图 3 棉花各生育期 SPAD 值和施氮量之间的关系

Fig. 3 Relationship between SPAD value and the cotton yields at different cotton growth stages
($n = 15$, $P_{0.05} = 0.497$, $P_{0.01} = 0.623$)

当边际产量等于尿素与棉花的价格比时, 边际利润等于零, 单位面积的施肥利润最大, 此时的施肥

量为最大利润(经济最佳)施肥量(每千克): 尿素 $P_y = 1.60$ 元, 籽棉 $P_x = 4.5$ 元。

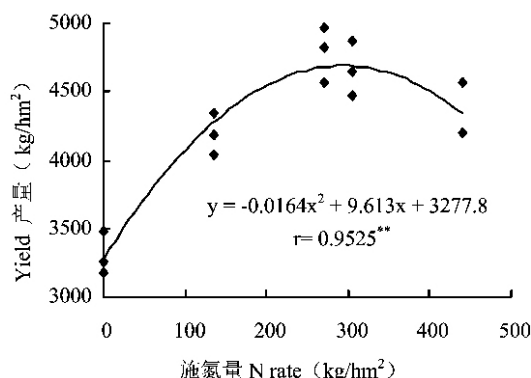


图4 棉花施氮量与产量的之间关系

Fig.4 Relationship between N rate and cotton yield

(n = 15, P_{0.05} = 0.497, P_{0.01} = 0.623)

本试验产量与施氮量的效应

$$y = -0.0164x^2 + 9.613x + 3277.8 \quad (1)$$

对(1)式求导 $9.613 + 2(-0.0164)x = 0$ 时获得最大利润(经济最佳)施肥量。式中 x_1 为最大利润(经济最佳)施肥量。经计算得最大利润(经济最佳)施肥量 207.33 kg/hm², 其对应的最佳产量为 4565.9 kg/hm²。

2.7 倒四叶 SPAD 值进行棉花氮素营养诊断的临界值的确定

采用不同生育期最高产量、经济最佳产量对应的 SPAD 值分别作为最适 SPAD 值和临界 SPAD 值。根据不同生育期 SPAD - 产量关系函数, 分别确定 4 个生育期的最适 SPAD 值和临界 SPAD 值和最高产量(表 6)。

表 6 棉花各生育期的临界 SPAD 值

Table 6 The critical SPAD value at the different cotton growth stages

生育期 Growing stage	最高产量(kg/hm ²) The highest yield	最适 SPAD 值 Optimum SPAD value	经济最佳产量(kg/hm ²) High economic yield	临界 SPAD 值 Critical SPAD value
盛蕾期 Budding peak stage	4617.2	61.3	4565.9	60.5
花期 Flowering stage	4737.4	61.7	4565.9	60.0
盛花期 Flowering peak stage	4684.3	63.2	4565.9	60.8
铃期 Bolling stage	4667.2	60.7	4565.9	59.1

2.8 基于 SPAD 值的膜下滴灌棉花氮素营养诊断指标的建立

测定值低于临界值时,说明养分供应氮肥,需要补充氮肥,即通过追肥的方式提供氮肥。因此,必须确定不同测定值对应的追肥量。根据膜下滴灌棉花各生育期的 SPAD 值与各生育期施氮总量的线性相关,以及临界 SPAD 值,可以建立 SPAD 诊断追肥模型^[14]。

设图 2 所示的线性关系求出的各生育期的测定 SPAD 值前一次的氮肥水平为 N_{con} , 全生育期总施氮量为 N_{opt} , 则各生育期阶段 N_d 追肥量:

$$N_d = N_{opt} - N_{con} \quad (1)$$

图 2 中各生育期的 SPAD 值和 N_{fer} 之间具有线

性回归关系:

$$N_{con} = (SPAD - a)/b \quad (2)$$

将(2)代入(1)式,得到 SPAD 值诊断推荐施肥模型:

$$N_d = N_{opt} + a/b - SPAD/b \quad (3)$$

式中 N_d 为各生育阶段追氮量, N_{opt} 为棉花全生育期总施氮量,单位为 kg/hm²; b 为各生育期的 SPAD 值与施氮量线性方程的回归系数; a 为截距。将 $N_{opt} = 293.1$ kg/hm² 以及图 2 确定的 a, b 值代入式(3),可以得到各生育期推荐追肥模型(表 7)。根据氮肥推荐模型计算出各生育期 SPAD 值变动一格施肥量,并依据此进行氮肥推荐。

表 7 膜下滴灌条件下棉花各生育期氮肥推荐模型

Table 7 Recommended models for the applied nitrogenous fertilizer at the different cotton growth stages

生育期 Growing stage	a	b	模型 Models	SPAD 值变动一格施肥量(kg/hm ²) N fertilizer rate/1 SPAD unit
盛蕾期 Budding peak stage	58.528	0.0925	$N_d = 925.84 - SPAD/0.0925$	10.81
花期 Flowering stage	56.773	0.1182	$N_d = 773.41 - SPAD/0.1182$	8.46
盛花期 Flowering peak stage	55.788	0.0745	$N_d = 1041.93 - SPAD/0.0745$	13.42
铃期 Bolling stage	55.565	0.159	$N_d = 642.57 - SPAD/0.159$	6.29

各生育期追肥量 = (临界 SPAD 值 - 各生育期实测 SPAD 值) × 各生育期 SPAD 值变动一格施肥量。

3 讨论与结论

本研究表明,膜下滴灌条件下,SPAD 值能够很好的表达棉花的氮素营养状况,这与陈防等^[15]、张文安^[16]、陶勤南等^[17]及王绍华等^[9]的观点相一致。李志宏等^[11]等研究认为,夏玉米 9 至 10 叶期最新展开叶叶绿素仪测定值和植株全氮、氮肥施用量及玉米产量之间有很好的相关性,可以作为玉米氮营养诊断的工具。本研究结果表明,在氮肥水平较好的情况下,倒四叶的尖部是较为理想的测定部位,这与王绍华等^[9]在水稻的研究结果是相一致的,在水稻单产水平和施氮水平较高的情况下,顶 4 叶是更合适的测定位点。

盛蕾期、花期、盛花期和铃期倒四叶 SPAD 值与施氮量、产量有很好的相关性,与施氮量可以用线性方程拟合,与产量用二次曲线拟合。由此确定在盛蕾期、花期、盛花期和铃期利用 SPAD 进行膜下滴灌棉花氮素营养诊断的临界值分别为 60.5、60.0、60.8 和 59.1。实际测定的 SPAD 值高于临界值则不需要施肥,低于临界值时,可根据不同生育期 SPAD 值变动一格的施肥量进行施肥指导。这样大大减少了工作量,实现快速的氮肥推荐。

本研究的模型是由单一棉花品种而得,对不同品种条件下的准确性和普适性还应进行进一步的研究;同时,结果是由一年的数据产生,今后还需要大量的田间试验对模型进行验证。

参考文献:

- [1] Singh B, Singh Y, Ladha J K *et al.* Chlorophyll meter-and leaf color cart-based nitrogen management for rice and wheat in Northwestern India[J]. *Agron. J.*, 2002, 94(4): 821-829.
- [2] Wood C W, Tracy P W, Reeves D W, Edinisten K L. Determination of cotton nitrogen status with a hand-held chlorophyll meter[J]. *J. Plant Nutr.*, 1992, 15(9): 1435-1448.
- [3] Fridgen J L, Varco J J. Dependency of cotton leaf nitrogen, chlorophyll, and reflectance on nitrogen and potassium availability[J]. *Agron. J.*, 2004, 96(1): 63-69.
- [4] Bronson K F, Chua T T, Booker J D, *et al.* In-season nitrogen status sensing in irrigated cotton II. Leaf nitrogen and biomass[J]. *Soil Sci. Am. J.*, 2003, 67(5): 1439-1449.
- [5] Fox R H, Piekielek W P, Macneal K M. Using a chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat[J]. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1994, 23(3-4): 171-181.
- [6] Zebarth B J, Younie M, Paul J W *et al.* Evaluation of leaf chlorophyll index for making fertilizer nitrogen recommendations for silage corn in a high fertility environmen[J]. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 2002, 33(5-6): 665-684.
- [7] Peng S, Garcia F V, Laza R C *et al.* Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice[J]. *Field Crops Res.*, 1996, 47: 243-252.
- [8] 吴良欢,陶勤南.水稻叶绿素计诊断追氮法研究[J]. *浙江农业大学学报*, 1999, 25(2): 135-138.
Wu L H, Tao Q N. Nitrogen fertilizer application based on the diagnosis of nitrogen nutrition of rice plants using chlorophyll meter[J]. *Zhejiang Agric. Univ.*, 1999, 25(2): 135-138.
- [9] 王绍华,曹卫星,王强强,等.水稻叶色分布特点与氮素营养诊断[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(12): 1461-1466.
Wang S H, Cao W X, Wang Q S. Positional distribution of leaf color and diagnosis of nitrogen nutrition in rice plant[J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2002, 35(12): 1461-1466.
- [10] 李刚华,丁艳锋,薛利红,王绍华.利用叶绿素计(SPAD-502)诊断水稻氮素营养和推荐追肥的研究进展[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(3): 412-416.
Li G H, Ding Y F, Xue L H, Wang S H. Research progress on diagnosis of nitrogen nutrition and fertilization recommendation for rice by use chlorophyll meter[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2005, 11(3): 412-416.
- [11] 李志宏,张云贵,刘宏斌,张福锁.叶绿素仪在夏玉米氮营养诊断中的应用[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(6): 764-768.
Li Z H, Zhang Y G, Liu H B, Zhang F S. Application of chlorophyll meter on N nutritional diagnosis for summer corn[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2005, 11(6): 764-768.
- [12] 张巨松,杜永猛.棉花叶片叶绿素含量消长动态的分析[J]. *新疆农业大学学报*, 2002, 25(3): 7-9.
Zhang J S, Du Y M. Analysis on chlorophyll content of cotton leaves [J]. *J. Xinjiang Agric. Univ.*, 2002, 25(3): 7-9.
- [13] 余渝,陈冠文,田笑明,等.新疆棉花叶光合速率的变化特点研究[J]. *新疆农业大学学报*, 2001, 24(1): 16-20.
Yu Yu, Chen G W, Tian X M. Research on the net photosynthesis rate(Pn) characteristic of cotton leaf in Xinjiang[J]. *J. Xinjiang Agric. Univ.*, 2001, 24(1): 16-20.
- [14] 刘宏平,田长彦,马英杰.棉花植株氮素营养诊断及氮肥推荐指标体系的建立[J]. *干旱区研究*, 2005, 22(4): 541-546.
Liu H P, Tian C Y, Ma Y J. Study on the recognition of N-nutrient in cotton plants and the development of the recommended index system for applying nitrogenous fertiliz[J]. *Arid Zone Res.*, 2005, 22(4): 541-546.
- [15] 陈防,鲁剑巍.SPAD-502 叶绿素计在作物的应用初探[J]. *湖北农业科学*, 1996(2): 31-34.
Chen F, Lu J W. Application of SPAD-502 chlorophyll meter on quickly diagnosing crop nutritior[J]. *J. Hubei Agric. Sci.*, 1996, (2): 3134.
- [16] 张文安.SPAD-501 型叶绿素仪在测定应用[J]. *贵州农业科学*, 1991(4): 37-40.
Zhang W A. The application of SPAD-501 chlorophyll analyzer to determine the chlorophyll contents in rice[J]. *Guizhou Agric. Sci.*, 1991, (4): 37-40.
- [17] 陶勤南,方萍,吴良欢,周维帮.水稻氮素营养的叶色诊断研究[J]. *土壤*, 1990, 22(4): 190-193.
Tao Q N, Fang P, Wu L H, Zhou W B. Study on leaf color diagnosis for nitrogen nutrition in rice[J]. *J. Soil Sci.*, 1990, 22(4): 190-193.