

施氮量对棉花叶位 SPAD 值的影响及 棉花氮素营养诊断

罗新宁^{1,2}, 朱友娟³, 张宏勇⁴

(1. 塔里木大学植物科学学院, 新疆 阿拉尔 843300; 2. 浙江大学农业与生物技术学院, 浙江 杭州 310007;

3. 阿克苏职业技术学院植物科学系, 新疆 阿克苏市 843000; 4. 中国人民解放军新疆军区麦盖提基地, 新疆 麦盖提 844600)

摘要: 在不同施氮量和不同质地土壤条件下, 研究了氮素水平对棉花叶片含氮量和叶绿素含量的影响。研究表明, 棉花不同生育时期叶片含氮量不同, 苗期、蕾期、花铃期、铃期叶片含氮量分别为 28.1、27.4、32.2、30.9 g·kg⁻¹。在各时期不同处理的叶片含氮量, 均表现出相同的规律, 即随施氮水平的提高, 棉花叶片含氮量增加。土壤质地不同(砂壤土、粘壤土)时, 高、中、低产棉田棉花叶片含氮量存在差异; 随着施氮量的提高, 棉花叶片含氮量随之提高, 同时棉花不同叶位间的含氮量更加接近。对叶绿素的分析表明, 不同施氮水平下, 叶绿素含量差异显著; 相同施氮水平下, 不同叶位叶片 SPAD 值差异显著; 施氮量增加能够提高棉花叶片的 SPAD 值, 同时减小棉花不同叶位间 SPAD 差值的大小。初花期和花铃期顶 1 叶的叶位差指数 PDI 与棉花叶片含氮量的相关性最高, 可以用叶位差指数作为衡量棉花氮素状况的指标。

关键词: 棉花; 氮素营养; 叶色差; 氮素诊断

中图分类号: S562.062 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)01-0128-06

Effects of nitrogen fertilizer rate on SPAD of cotton leaves and diagnosis of nitrogen nutrition

LUO Xin-ning^{1,2}, ZHU You-juan³, ZHANG Hong-yong⁴

(1. College of Plant Science, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China;

2. College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310007, China;

3. Akesu Vocational and Technology College, Akesu, Xinjiang 843000, China;

4. Markit Base of People's Liberation Army of Xinjiang Military Region, Markit, Xinjiang 844600, China)

Abstract: Chlorophyll and nitrogen content of each leaf on main stem of cotton plant under different nitrogen application rates and soil properties were investigated. The results showed that nitrogen content of leaves varied with growth stages, being 2.83%, 2.74%, 3.22%, and 3.12% for seedling, bud, flowering, and boll stage, respectively. Leaf nitrogen content increased as nitrogen rate increased for all the treatments. There were significant differences in leaf nitrogen content between the soils of sandy loam and clay loam. The analysis showed that the differences in chlorophyll content were significantly under different nitrogen levels, and it also varied with leaf position. Nitrogen fertilizer increased cotton leaf SPAD values, while there was no marked difference in SAPD value between leaf positions. In addition, leaf color was significantly different between the 4th and the 1st leaf from the top, which was correlated with the plant nitrogen content at flowering stage and flowering-boll stage. Therefore, color difference between the 4th and the 1st leaf from the top could be used for diagnosis of plant nutrition status.

Keywords: cotton; nitrogen nutrition; leaf color difference; nutrition diagnosis

田间条件下快速确定作物氮营养状况一直是作物营养诊断研究重点。许多大田作物在缺氮时会表现出一些肉眼可见的症状, 作物在缺氮胁迫下, 会导致老叶失绿; 相反, 供氮过量时, 叶片颜色深绿, 并且

延迟衰老。通过观测叶片颜色变化来评价作物氮营养状况已经在生产中获得应用^[1-5]。科学准确的营养诊断是作物合理施肥和栽培调控的基础。前人对作物氮素营养诊断进行了较多的研究, 形成了不同

的诊断理论、方法与手段。从叶色卡定性诊断发展到生理定量诊断,从土壤营养诊断发展到植株营养诊断,从破坏性取样诊断发展到应用光谱议等设备进行非破坏性诊断。这些方法要么过于繁琐,要么受光线影响,误差较大,均不能很好地用于生产实践。

近年来,一些研究结果表明,手持叶绿素仪可以用来估计作物氮营养状况和进行氮肥推荐。它可以在田间条件下无损伤检测植物叶片叶绿素相对含量^[2],并开始在水稻^[3]、棉花^[4-5]、小麦^[6-7]和玉米^[8-9]等作物上进行应用研究。彭少兵等利用水稻最上部完全展开叶的 SPAD 值诊断水稻品种 IR72 的氮素营养水平,并将 SPAD 值 35 作为 IR72 移栽后 15 d 至拔节阶段推荐施氮的临界指标^[10]。邬飞波等利用叶绿素计诊断短季棉的氮素营养,获得了不同生育时期 SPAD 诊断指标^[11]。这些研究都基于作物叶片实测 SPAD 值指导施肥,但作物叶片的 SPAD 值及其推荐施氮临界指标受品种、生育时期、植物群体大小和气候等因素影响,直接利用 SPAD 值作为诊断指标缺少普适性和统一标准。为此,人们曾尝试对 SPAD 值进行修正,如彭少兵利用 SPAD/SLW (SLW = 干重/叶面积)对 SPAD 值进行修正,可以提高基于干重的水稻叶片氮浓度的预测精度^[10]。但利用 SPAD/SLW 指标需要测定 SLW,这就减弱了 SPAD 快速、简便、非损伤性的优势^[12]。

最近,有研究认为水稻下位叶与上位叶氮碳代谢对施氮的反应存在明显差异,其 SPAD 值的比值或差值能反映植株氮素营养状况^[13];屈为群^[4]进行不同棉花品种的氮素试验表明,用 PDI(叶位差指数)进行氮素诊断的可行性,这为采用 SPAD 仪对作物氮素进行诊断提出了新思路。

棉花具有无限生长习性,其主茎叶片 SPAD 值与棉株氮素营养水平是否存在规律性,不同质地土壤对棉花氮素营养诊断有何影响,国内外相关研究较少。本文研究棉花主茎叶片 SPAD 值变化的叶位差异,旨在探求可反映棉花氮素营养状况的新指标,建立基于 SPAD 值的棉花氮素营养诊断方法,为棉花生产中的氮素合理运筹提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2007—2008 年在新疆沙雅县新垦农场进行。试点土壤为沙壤土,耕层土壤有机质含量为 $9.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮 $80.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $9.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $228 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。供试棉花品种为中棉 43 号,4 月 22 日播种。试验设置 5 个氮素水平:

0、207、258.75、310.5、362.25 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,分别以 CK、LN、N2、N3、HN 表示,3 次重复,随机区组排列,小区面积为 40.8 m^2 ,株、行距配置为(20 + 40 + 20 + 60) $\text{cm} \times 10 \text{ cm}$ 。氮肥按基肥 40%、追肥 60%(头水 40%,二水 20%)施入,除 CK 处理外,其余处理均基施重过磷酸钙 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,硫酸钾 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。田间管理按当地栽培要求进行。同时在周围砂壤土和粘壤土上,各分别选择高(H)、中(M)、低(L)产田各三块,进行田间调查和取样,调查和取样方法与小区试验相同。低、中、高产田选择标准为,前两年皮棉平均产量 $\leq 1500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 为低产田、 $2000 \sim 2250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 为中产田、 $\geq 2500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 为高产田。按照当地施肥习惯,低产田氮素投入为 138 ~ 207 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,中产田为 241.5 ~ 310.5 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,高产田为 345 ~ 414 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

1.2 测定项目与分析方法

1.2.1 叶色 用日本产 Minolta SPAD-502 叶绿素仪每张叶片上测定 5 个点(棉花掌状裂叶的每个裂片中部取 1 个点),取平均数作为该叶片的 SPAD 值,每小区 30 株棉花相同叶位叶片 SPAD 值再平均,作为该小区该叶位的 SPAD 值。分别以主茎顶 1、顶 2、顶 3 叶为对照叶,计算顶 4 叶与对照叶的叶位差指数 PDI,即 $\text{PDI} = (\text{对照叶 SPAD 值} - \text{顶 4 叶 SPAD 值}) \times 100 / \text{顶 4 叶 SPAD 值}$ 。

1.2.2 叶片含氮量 在出苗至吐絮期间,每间隔 15 d 左右取 5 株长势一致的棉株,测定主茎顶 1、顶 2、顶 3、顶 4 叶含氮量,植株全部绿色叶片的含氮量。

将同一小区 5 株棉花的绿色叶片全部取下混合装入样品袋,置烘箱内,105℃杀青 1 h,85℃恒温烘干至衡重,经粉碎,过 1 mm 筛子后,采用半微量凯氏定氮法测定全氮含量。以同一小区内 5 株棉花全部绿色叶片的平均含氮量表示植株氮水平,简称为植株叶片含氮量。

用 SPSS 11.0 软件进行统计分析,用 Duncan 新复极差法检验处理平均数之间差异的显著性,用小区观测值进行回归与相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同施氮水平对棉花植株叶片含氮量的影响

施氮水平对不同时期棉花叶片含氮量有明显的影响。表 1 列出了 4 个测定时期各处理棉花叶片的含氮量变化。从表中可以看出,叶片含氮量在棉花苗期(6 月 1 日)叶片含氮量较高,蕾期(6 月 10 日)叶片含氮量逐渐下降,至花铃期叶片含氮量(7 月 15

日)达到最大值,随后下降,呈现高-低-高-低的不规则变化。

各时期不同处理的叶片含氮量,均表现出相同的规律,即随施氮水平的提高,棉花叶片含氮量总体呈增加的趋势(表 1)。

表 1 施氮水平对棉花叶片含氮量的影响/(g·kg⁻¹)

Table 1 The effect of nitrogen application rates on N content of cotton leaves

氮水平 N level	苗期 Seedling stage	蕾期 Bud stage	花铃期 Flowering-boll	铃期 Boll stage
CK	27.4ab	25.2b	31.2ab	29.7b
LN	25.8b	25.9ab	31.1b	30.4b
N2	28.9ab	26.9ab	32.4ab	31.6ab
N3	28.2ab	29.2a	32.9ab	31.9ab
HN	31.3a	29.8a	33.5a	32.6a
平均 Average	28.1	27.4	32.2	30.9

注:不同小写字母表示在 5% 水平差异显著,大写字母表示在 1% 水平差异显著,下同。

Note: Data with different letters indicate significant differences at 5% level (the lowercase) and 1% (the capital). The same below.

表 2 花铃期不同质地土壤棉花叶片含氮量的差异/(g·kg⁻¹)

Table 2 N contents of cotton leaves for different soils

土壤质地 Soil texture	处理 Treatments	L1	L2	L3	L4	平均 Average	F	CV/%
砂壤土 Sandy loam	L	24.8cC	25.9cBC	29.0aA	31.9aA	27.9	25.58	11.49
	M	27.6cB	30.4bAB	29.1bcB	33.7aA	30.2	39.58	8.60
	H	29.6cB	32.9bB	32.7bAB	34.9aA	32.5	17.36	6.72
粘壤土 Clay loam	L	26.5aA	27.5bcB	27.1bB	29.8aA	27.7	58.12	5.21
	M	28.7cB	29.8bcB	30.3bAB	32.2aA	30.2	32.27	4.84
	H	30.4cA	31.7bcA	32.9abA	33.7aA	32.1	12.01	4.47

注:L1、L2、L3、L4 分别为顶 1 叶、顶 2 叶、顶 3 叶、顶 4 叶。L,低产田;M,中产田;H,高产田。

Note: L1, L2, L3, L4, the 1st, the 2nd, the 3rd, and the 4th leaf from the top. L, low yield; M, middle yield; H, high yield.

2.2 不同施氮水平对棉花叶片 SPAD 值的影响

SPAD 值表示叶绿素的相对含量。对不同时期棉花叶片的 SPAD 值比较发现,相同施氮水平下,不同叶位叶绿素含量差异显著(表 3)。低产田顶 1 至顶 4 叶叶绿素含量普遍低于高产田。对不同施氮处理的比较发现,所有高产田棉花叶片 SPAD 值均比低产田高,表明施肥量增加能够提高棉花叶片的 SPAD 值。不同叶位 SPAD 值的方差分析说明,不同叶位叶片 SPAD 值均存在差异,只是差异的程度不同。高产田的叶位间 SPAD 值变异系数较低,F 值均低于低产田,表明施氮量的增加,能减小叶位间 SPAD 值的差异。

土壤质地不同,相同的施氮水平下相同叶位的 SPAD 值出现差异,说明土壤环境对 SPAD 值有一定

对各处理叶片含氮量进行统计分析发现,各时期棉花叶片含氮量存在差异。苗期高氮处理的叶片含氮量与低氮处理差异显著,其他处理与低氮处理差异不显著;蕾期高氮、N3 处理与对照差异显著,其他处理与低氮和对照处理差异不显著。花铃期高氮处理的叶片含氮量与低氮差异显著,其他处理与对照和低氮处理差异不显著。铃期高氮处理与对照差异显著,N2 与 N3 差异不显著,对照和低氮处理差异不显著。

当土壤质地不同时,土壤产量水平对各叶位含氮量的影响如表 2。数据表明随着土壤产量水平的提高,不同叶位的叶片含氮量随之提高。

砂壤土低产田不同叶位之间的含氮量变异系数为 11.49%,中、高产田分别为 8.6%、6.72%。粘壤土低产田不同叶位之间的含氮量变异系数为 5.21%;中、高产田分别为 4.84% 和 4.47%。说明在棉花生长过程中,施氮能提高叶片含氮量,使棉花不同叶位间的含量更加接近。

影响(表 4)。对砂壤土和粘壤土各处理不同叶位 SPAD 值进行比较,棉花叶位间 SPAD 值变异系数的大小为低产 > 中产 > 高产,标准差大小排序与变异系数相同。说明增加氮素能够降低各叶位之间 SPAD 值的差异,使各叶位 SPAD 值更接近。

上述分析表明,棉花主茎顶 1 至顶 4 叶的 SPAD 值受棉花氮营养状况影响,随着施氮水平的提高,棉花叶片含氮量提高,棉花主茎顶 1 至顶 4 叶的 SPAD 值差异减小。

2.3 棉花主茎顶 4 叶 SPAD 值与植株叶片含氮量的关系

顶 4 叶作为棉花的功能叶,其含氮量能够大致反映棉花的氮营养状况。运用最小二乘法,分别计算顶 4 叶 SPAD 值对棉株叶片含氮量的回归方程,

结果见表 5。从表 5 中可以看出,不同测定时期顶 4 叶的 SPAD 值与叶片含氮量均呈极显著正相关,说明用顶 4 叶的 SPAD 值可以预测棉花叶片的含氮量情况。对表 5 中的部分结果进行图示时发现(图 1),同一时期不同质地土壤中,棉花的叶片含氮量与

顶 4 叶 SPAD 值的回归关系线不能较好地重合,说明仅以顶 4 叶的 SPAD 值预测棉花叶片含氮量会受到环境条件的影响,必须针对棉花生长的不同土壤环境和生育时期建立回归方程,这就使叶绿素仪的普适性降低。

表 3 不同氮素水平棉花主茎不同叶位 SPAD 值分布特点

Table 3 The effect of nitrogen application rates on SPAD of cotton stem leaves

氮水平 N level	叶位 Leaf position	苗期 Seedling stage	见蕾期 Early budding	蕾期 Bud stage	初花期 Early flowering
CK	L1	28.3dC	36.4	40.8cB	50.9cB
	L2	38.3cB	41.3	45.6bcAB	54.7bcAB
	L3	44.9bA	48.4aAB	52.1abAB	57.3abAB
	L4	49.7aA	58.2aA	54.9aA	60.1aA
	平均 Average	40.30	46.10	48.35	55.75
	CV/%	19.91	17.79	11.40	6.08
LN	L1	31.8bB	40.1cB	44.4cC	53.4cB
	L2	38.2bB	41.9cB	46.7cBC	56.8bAB
	L3	45.2aAB	48.7bA	50.7bB	58.7abA
	L4	51.6aA	59.8aA	55.8aA	60.2aA
	平均 Average	41.70	47.63	49.41	57.58
	CV/%	17.81	16.22	8.76	4.44
HN	L1	35cC	42.2bB	46.9cB	56.9cC
	L2	39.2cBC	44.8bB	48.9cB	57.7bBC
	L3	43.2bB	51.8aAB	54.3bA	58.5bAB
	L4	52aA	60.6aA	57.6aA	64.2aA
	平均 Average	42.12	49.85	51.93	59.33
	CV/%	14.83	14.30	8.18	4.84

表 4 不同质地土壤棉花主茎不同叶位 SPAD 值的差异

Table 4 SPAD values of different cotton stem leaves

时期 Stage	土壤质地 Soil texture	处理 Treatment	L1	L2	L3	L4	平均 Average	SD	CV/%
现蕾期 Early budding	砂壤土 Sandy loam	L	30.1	34.6	43.6	54.2	40.6	10.65	26.21
		M	33.8	40.1	45.2	57.2	44.1	9.91	22.50
		H	42.9	45.2	49.6	58.8	49.1	7.02	14.30
	粘壤土 Clay loam	L	31.2	33.1	38.9	52.9	39.0	9.81	25.14
		M	36.2	39.9	41.2	55.2	43.1	8.32	19.30
		H	40.9	42.8	45.1	59.4	46.3	6.95	15.01
花铃期 Flowering- boll	砂壤土 Sandy loam	L	40.2	45.3	53.4	57.2	49.0	6.66	13.59
		M	46.1	49.4	58.8	59.6	53.4	5.84	10.93
		H	54.6	58.9	60.8	61.7	59	2.73	4.63
	粘壤土 Clay loam	L	42.4	44.2	48.8	56.2	47.9	5.33	11.12
		M	48.8	49.4	49.9	58.8	51.7	4.10	7.93
		H	53.8	54.6	55.4	60.6	56.1	2.65	4.73

表 5 棉花叶片含氮量 (PNC)与顶 4 叶 SPAD 值 (S)的回归方程

Table 5 Regression equation between the nitrogen content of leaves and the SPAD values of the forth leaf from the topmost of cotton plant

时期 Stage	砂壤土 Sandy loam		粘壤土 Clay loam	
	方程 Equation	R ²	方程 Equation	R ²
蕾期 Bud stage	$PNC = 0.0396S + 0.7466$	0.6129**	$PNC = 0.0182S + 1.9941$	0.4276*
初花期 Early flower	$PNC = 0.06425S + 0.1264$	0.8276**	$PNC = 0.08895S - 1.0815$	0.8053**
花铃期 Flowering-boll	$PNC = 0.0635S - 0.6999$	0.8464**	$PNC = 0.08635S + 1.957$	0.8858**
铃期 Boll stage	$PNC = 0.04185S + 0.1055$	0.7325**	$PNC = 0.0215S + 1.331$	0.7135**

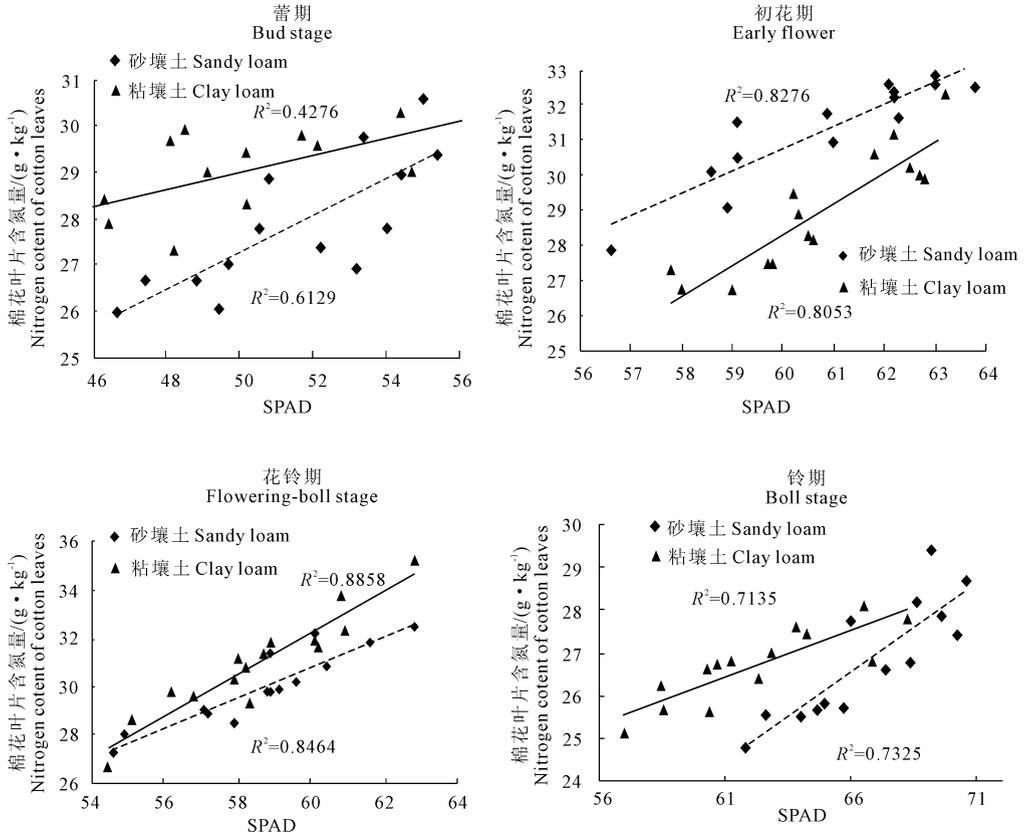


图 1 棉花叶片含氮量与顶 4 叶 SPAD 值的回归分析

Fig. 1 Regression analysis between the nitrogen content of leaves and the SPAD value of the forth leaf from the topmost of cotton plant

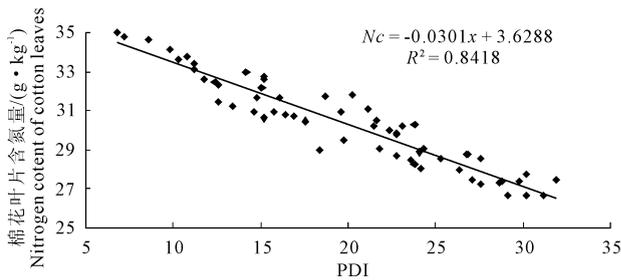


图 2 棉花顶 1 叶叶位差指数 PDI 与叶片含氮量的关系

Fig. 2 Relationship between nitrogen content of cotton leaves and PID values

2.4 棉花主茎叶位差指数 (PDI) 与棉花叶片含氮量的关系

由于棉花顶部 4 张定型叶的 SPAD 值对氮素反

应敏感,而顶 4 叶相对稳定,如果对顶 1 至顶 3 叶的 PDI 进行定量描述,就有可能对棉花的营养状况进行诊断。对初花期和花铃期顶 1、顶 2、顶 3 叶的叶位差指数 (PDI) 与棉花叶片含氮量进行相关分析,其相关系数分别为 0.9051*、0.7234*、0.5654。表明初花期和花铃期顶 1 叶的 PDI 与棉花叶片含氮量的相关性最高,可以用叶位差指数作为衡量棉花氮素状况的指标。

分析顶 1 叶 PDI 与棉花叶片含氮量的关系 (图 2) 发现,不同质地土壤在初花期和花铃期的 PDI 与棉花叶片含氮量的回归关系可合并为同一直线。这说明运用 PDI 预测棉花叶片含氮量,可以克服土壤条件和生育期的影响,使普适性增强。传统叶色诊断通常以作物叶片的 SPAD 值来判断植株氮水平,

而植株氮素水平的高低直接反映出其生物量和产量的高低。正是这种高度的相关性,使作物氮素的快速诊断才成为可能。但是不同品种或相同品种在不同生育阶段有较大的叶色差异,对某品种或某生育期建立的叶色指标往往不能适用于另一品种或不同的生育阶段,需要根据品种和生育阶段分别建立叶片 SPAD 值与植株含氮量的回归关系,使 SPAD 指标的普适性受到影响。本研究对两种不同质地土壤的棉花进行了叶片 SPAD 值的观测,结果证实棉花叶片 SPAD 值与植株叶片含氮量有密切关系,但同一品种在不同时期的叶片 SPAD 值与植株叶片含氮量的关系不能统一。屈卫群^[4]的研究表明,不同棉花品种相同叶位的 SPAD 值不同;不同品种不同时期主茎顶 1、顶 4 定型叶的 PDI(叶位差指数)值均随施氮水平增加而直线上升。可见主茎顶 1、顶 4 定型叶 SPAD 值的叶位差异指数不仅能较好地指示棉花植株叶片含氮量的变化,同时也能较好地分辨不同的施氮水平,说明使用 PDI 对棉花氮素营养状况诊断是可行的。

本研究发现,在棉花各主茎叶的 SPAD 值虽随施氮水平的提高而增加,并与植株叶片氮含量呈极显著正相关,而主茎顶 1、2、3、4 定型叶之间 SPAD 值的差异却在缩小,表明棉花顶部叶 SPAD 值的位次变化与施氮水平和植株氮营养状况有密切关系,根据不同叶位 SPAD 值的位次变化可以对作物的氮素营养状况进行诊断。本研究显示,棉花主茎顶 1 定型叶与顶 4 定型叶 SPAD 值的相对差值同棉花氮素营养水平有较好的线性关系,而且这种关系受土壤质地条件和生育时期的影响较小。

3 结 论

棉花主茎顶 1 至 4 定型叶 SPAD 值对施氮量增加的响应存在明显的差异,在不同氮水平下,SPAD 值顶 4 定型叶 > 顶 3 定型叶 > 顶 2 定型叶 > 顶 1 定型叶。随着氮素水平的提高,4 片叶 SPAD 值会有不

同幅度的增加,经统计分析,主茎第 1 定型叶与第 4 定型叶 SPAD 值的相对差值(PDI)与棉花叶片含氮量表现出一定的规律性,能较好反映棉花氮素营养水平,并且受棉花生育期时期和土壤状况影响较小,可作为棉花氮素营养无损即时诊断指标之一。

参 考 文 献:

- [1] Balasubramanian V, Morales A C, Cruz R T. On-farm adaptation of knowledge-intensive nitrogen management technologies for rice systems [J]. *Nutr Cycling Agroecosyst*, 1999, 53(1): 59-69.
- [2] 陈新平,贾良良,张福锁. 无损测试技术在作物氮营养诊断及氮肥推荐中的应用[C]//冯 锋,张福锁,杨新泉,等. 植物营养研究进展与展望. 北京:中国农业大学出版社,2000:197-206.
- [3] Turner F T, Jund M F. Chlorophyll meter to predict nitrogen top-dress requirement for semi dwarf rice[J]. *Agronomy Journal*, 1991, 83(5): 926-928.
- [4] 屈卫群,王绍华,陈兵林,等. 棉花主茎叶 SPAD 值与氮素营养诊断研究[J]. *作物学报*, 2007, 33(6): 1010-1017.
- [5] Wood C W, Tracy P W, Reeves D W, et al. Determination of cotton nitrogen status with a hand-held chlorophyll meter[J]. *Plant Nutri*, 1992, 15(9): 1435-1448.
- [6] 赵满兴,周建斌,翟丙年,等. 旱地不同冬小麦品种氮素营养的叶绿素诊断[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(4): 461-466.
- [7] Fox R H, Piekielek W P, Macneal K M. Using a chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat[J]. *Conanun. Soil Sci. Plant Anal.* 1994, 25(3,4): 171-181.
- [8] Piekielek W P, Fox R H. Use of a chlorophyll II meter to predict side dress nitrogen requirement for maize[J]. *Agron*, 1992, 84: 59-65.
- [9] 李志宏,张云贵,刘宏斌,等. 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.
- [10] Peng S, Garcia F V, Laza R C, et al. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigate rice[J]. *Field Crops Res*, 1996, 47: 243-252.
- [11] 邬飞波,许馥华,金珠群. 利用叶绿素计对短季棉氮素营养诊断的初步研究[J]. *作物学报*, 1999, 25(4): 483-488.
- [12] Song J X, Liu S P, Shen X P, et al. Effect of soil compaction on nutrient absorption by cotton[J]. *Journal of JIANGSU Agricultural College*, 1997, 18(3): 21-26.
- [13] Zhou Q F, Wang J H. Comparison of upper leaf and lower leaf of rice plants in response to supplemental nitrogen levels[J]. *Plant Nutr*, 2003, 26(3): 607-617.