

棉花氮素营养诊断与追肥推荐模型*

李新伟 吕新 张泽 陈剑 石宏刚 田敏

(石河子大学新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 石河子 832003)

摘要: 利用主动遥感器光谱仪 GreenSeeker 进行棉花的氮素营养诊断, 建立棉花冠层归一化植被指数 (NDVI) 的氮素追肥推荐模型, 实现棉花氮素的精准管理。利用 2011—2012 年不同氮肥处理的田间试验数据, 建立棉花冠层 NDVI 与施肥量、NDVI 与产量的定量关系, 结合氮肥效应函数建立光谱氮素推荐模型, 并利用 2013 年的独立试验数据进行田间验证。结果表明: 总体上施氮量增加棉花冠层 NDVI 值增大, 但当氮肥增加到一定量时 NDVI 值不再增加, 在棉花盛蕾期、花期、盛铃期和初絮期, 随着氮肥施用量的增加, 棉花 NDVI 值均呈线性增加的趋势; 全生育期最佳施氮量为 294.7 kg/hm², 棉花盛蕾期、花期、盛铃期和初絮期 NDVI 临界值分别为 0.695、0.833、0.881 和 0.809; NDVI 每低于临界值 0.001 单位所需施肥量分别为 0.24、0.91、1.11 和 0.16 kg/hm²。经田间验证, 在保证产量的前提下, 光谱推荐可减少施肥量, 缩小地力之间的差异, 达到按需施肥的目的。

关键词: 棉花氮素 营养诊断 追肥模型 归一化植被指数

中图分类号: S127; S562 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)12-0209-06

引言

氮肥是农业作物施用量最大的一类化学肥料, 也是推荐施肥中最难于准确定量的一种肥料^[1]。及时诊断氮素营养状况或缺缺状况、作出正确的施肥决策、采取有效的管理措施有重大的经济和生态意义。测定植株体内全氮量来诊断推荐施肥不能迅速指导田间氮肥施用量。而用反射仪获取植株硝酸盐含量可以较好地反映植株氮素状况和确定氮肥用量, 这在小麦、玉米和棉花等作物方面有大量的研究^[2-4]。但此方法存在一定的局限性, 如在棉花打顶后测定倒四叶硝酸盐无法反映氮素丰缺, 且此方法为破坏性取样, 需在室内用反射仪测定硝酸盐含量。

光谱技术具有信息获取快速、非破坏性和面积大等优点, 已广泛应用于作物的氮素营养诊断和施肥推荐^[5-7]。SPAD-502 是一种手持式叶绿素仪, 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^[8-9]。但其测定结果受品种、测试部位和环境等因素的影响很大。GreenSeeker 光谱仪是美国 Oklahoma 州立大学开发的目前较先进的一种地面主动遥感高光谱仪器, 它可以快速获取归一化植被指 (Normalized difference

vegetation index, NDVI)。

大量研究表明 NDVI 值增强了红光与近红外通道反射率的对比度, 它是红光和近红外通道比值的非线性拉伸, 从而抑制了高值部分、加强了低值部分^[10]。前人研究中对各生育期的光谱诊断指标的建立和实时追肥推荐量的研究较少^[11-16], 本文在新疆膜下滴灌水肥一体化的基础上, 利用 GreenSeeker 快速、准确获取棉花冠层 NDVI, 建立棉花关键生育期 (盛蕾期、花期、盛铃期、初絮期) 的光谱诊断模型, 以产量作为指示因子, 探讨各生育期的临界光谱诊断指标、适宜指标及最佳施氮量, 并建立光谱追肥模型, 实现棉花的快速、实时追肥推荐, 以期规模化生产条件下作物氮素精准管理提供依据。

1 材料与试验方法

1.1 试验设计

试验于 2011—2013 年在石河子大学农学院试验站进行。土壤质地为砂壤土, 供试材料为棉花常规早熟品种新陆早 48 号。

试验 1: 2011—2012 年进行棉花氮肥试验, 用于建立棉花氮素营养诊断模型。0~20 cm 土层含有有机质 17.82 g/kg、碱解氮 52.38 mg/kg、速效磷

收稿日期: 2014-01-08 修回日期: 2014-02-21

* 国家高技术研究发展计划 (863 计划) 资助项目 (2012AA101902) 和“十二五”国家科技支撑计划资助项目 (2012BAD41B02)

作者简介: 李新伟, 博士生, 主要从事精准农业和农业信息化研究, E-mail: xinshili123@163.com

通讯作者: 吕新, 教授, 博士生导师, 主要从事绿洲生态和农业信息化研究, E-mail: lvshz@126.com

25.88 mg/kg、速效钾 186 mg/kg。设 5 个氮处理,分别施纯氮 0 (N0)、120 (N1)、240 (N2)、360 (N3) 和 480 (N4) kg/hm²。

采用膜下滴灌栽培(一膜两管四行模式),小区面积为 51 m²,各 3 次重复,小区在田间随机排列。磷、钾肥作为基肥在播种前一次性施入,磷肥和钾肥施入量分别为 225 和 227.5 kg/hm²。氮肥为尿素(含 N 质量分数 46%)、磷肥为重过磷酸钙(含 P₂O₅ 质量分数 46%)、钾肥为氯化钾(含 K₂O 质量分数 50%)。灌水量、氮肥追施量如表 1 所示。

表 1 棉花不同生育期灌水量及各处理追施氮肥用量

Tab.1 Irrigation depth and topdressing nitrogen rate of cotton at different growth stages

生育期	灌水量/ (m ³ ·hm ⁻²)	追施纯氮量/(kg·hm ⁻²)					氮肥用量 比例/%
		N0	N1	N2	N3	N4	
苗期	150	0	0	0	0	0	0
蕾期	250	0	0	0	0	0	0
	550	0	12	24	36	48	10
花期	600	0	18	36	54	72	15
	700	0	30	60	90	120	25
铃期	900	0	36	72	108	144	30
	700	0	18	36	54	72	15
絮期	500	0	6	12	18	24	5
	300	0	0	0	0	0	0
总计	4 650	0	120	240	360	480	100

试验 2: 2013 年在石河子大学农学院试验站进行营养诊断模型田间验证试验。0~20 cm 土层含有有机质 19.25 g/kg、碱解氮 59.32 mg/kg、速效磷 26.34 mg/kg、速效钾 190.31 mg/kg。试验设 Nc(常规大田施肥 320 kg/hm²)、Nd(诊断模型推荐施肥) 2 个处理。栽培模式和试验 1 一致,各处理 3 次重复,小区在田间随机排列。磷、钾肥作为基肥在播种前一次性施入,施入量分别为 225、227.5 kg/hm²。氮肥为尿素(含 N 质量分数 46%)、磷肥为重过磷酸钙(含 P₂O₅ 质量分数 46%)、钾肥为氯化钾(含 K₂O 质量分数 50%)。

1.2 测试指标与方法

采用便携式主动遥感光谱仪 GreenSeeker 获取 NDVI 值。测量时将光谱探照头平行于棉花植被冠层,行进速度 1.25 m/s、高度 0.5 m、长度 10 m,其上操作保持一致,每小区选取长势均匀的 3 个点,重复测量 3 次。测试中在 GreenSeeker 的 PDA 上进行编号并及时将数据传到计算机。对所获得的数据进行差异显著性分析后,取平均值作为该区的光谱测量值。从现蕾期开始,在棉花灌水和施肥前测定。

9 月初进行产量测定,10 月进行收获,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、SPSS 17.0 和 Origin 9.0。

2 结果与分析

2.1 棉花冠层 NDVI 值与施氮量的关系

由 2011 年和 2012 年棉花冠层 NDVI 值的动态变化可以看出,NDVI 呈现“低-高-低”的变化趋势(图 1)。不同氮处理间冠层 NDVI 值的动态变化趋势具有明显的一致性,总体上施氮量增加棉花冠层 NDVI 值增大。但在 2011 年棉花出苗后 85 d 到出苗后 110 d(盛铃期),2012 年棉花出苗后 93 d 到出苗后 105 d(盛铃期),在氮肥增加到一定量时,NDVI 值不再增加。在棉花蕾期开始温度上升,水肥供应量加大,生物量增加幅度较大,地面覆盖度增加,红光波段和近红外波段的光谱反射率差异大;且随着施氮量的增加,棉花在红光波段光谱吸收增大,光谱反射率减小,但在铃期生殖生长大于营养生长期光谱吸收接近饱和^[17],因此其冠层 NDVI 值表现为图 1 所示结果。

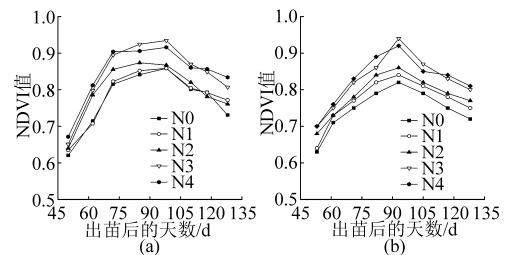


图 1 不同氮营养棉花冠层 NDVI 值的变化
Fig.1 Canopy NDVI value at various growth stages of cotton for different nitrogen treatments
(a) 2011 年 (b) 2012 年

棉花生育期内随着氮肥施用量的增加,棉花 NDVI 值均呈线性增加趋势(图 2)。其中花期的决定系数最高($R^2 = 0.9147$),而盛铃期和初絮期决定系数较低;可能是因为随着累积施氮量的增加,棉花植株营养生长过剩导致 NDVI 出现饱和现象^[18]。在各个时期不施肥处理的 NDVI 稳定性较差,且在盛蕾期和初絮期表现更明显,这是由于前期地力条件差、长势不均和后期氮肥胁迫导致不同程度的落叶所致。本试验中 NDVI 值与测定前施氮量的相关性高于 NDVI 值与累积施氮量的相关性,因此采用各生育期 NDVI 值与前一次的施氮量进行推荐施肥,这与潘薇薇等^[8]的研究结果一致。

2.2 棉花冠层 NDVI 值与产量的关系

棉花盛蕾期、花期、盛铃期和初絮期 NDVI 值和产量之间表现为二次曲线的函数关系(图 3)。即随

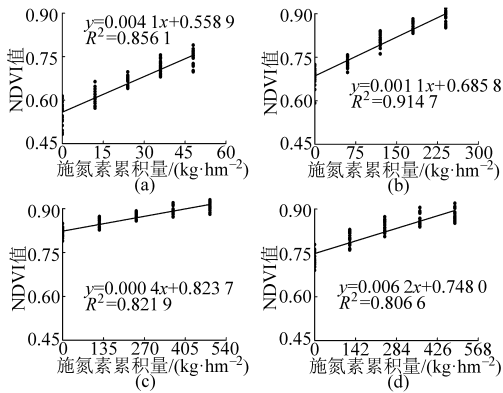
图 2 棉花各生育期 NDVI 值与施氮量的关系 ($n = 90$)

Fig. 2 Relation of canopy NDVI value and nitrogen application rate at various growth stages of cotton

(a) 盛蕾期 (b) 花期 (c) 盛铃期 (d) 初絮期

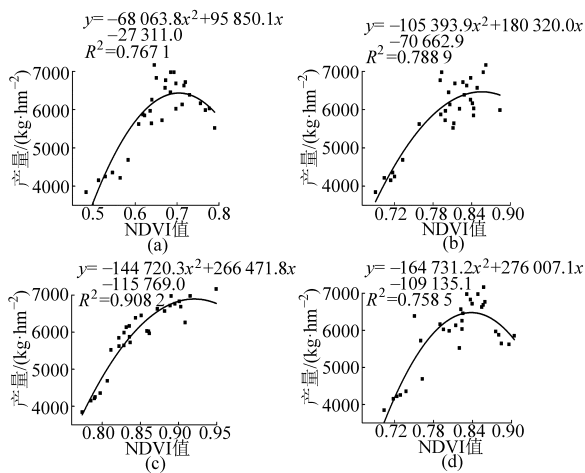
图 3 棉花各生育期 NDVI 值与产量的关系 ($n = 30$)

Fig. 3 Relation of canopy NDVI value and yield at various growth stages of cotton

(a) 盛蕾期 (b) 花期 (c) 盛铃期 (d) 初絮期

随着 NDVI 值的增加,产量也增加;但当 NDVI 值达到一定值时,产量增加缓慢或略有下降。可能是当 NDVI 值增加到一定量时,棉花植株不再吸收氮素,产量不再增加,当棉花植株含氮量过高时,反而会抑制棉花植株生长,导致产量略有下降。

棉花 NDVI 值与产量之间的回归关系为氮素定量化诊断追肥提供了依据。以达到最高产量对应的 NDVI 值作为最适值,根据各生育期 NDVI 值与产量的回归方程,可得到棉花盛蕾期、花期、盛铃期和初絮期的最适 NDVI 值分别为 0.704、0.856、0.921 和 0.838(表 2)。

2.3 氮肥用量与产量的关系

在棉花不同施氮处理下,棉花籽棉产量以 N2 (240 kg/hm²) 处理最高,其次为 N3 (360 kg/hm²) 处理;当施肥量再增加时,产量有下降的趋势(图 4)。用一元二次方程对棉花的氮肥效应进行拟合,得到施肥量与棉花产量的回归方程为

表 2 棉花各生育时期的临界 NDVI 值

Tab. 2 Determination of canopy NDVI thresholds at various growth stages of cotton

生育期	最高产量/ (kg·hm ⁻²)	经济最佳产量/ (kg·hm ⁻²)	最适 NDVI 值	临界 NDVI 值
盛蕾期	6 683.7	6 669.8	0.704	0.695
花期	6 736.9	6 669.8	0.856	0.833
盛铃期	6 893.9	6 669.8	0.921	0.881
初絮期	6 829.3	6 669.8	0.838	0.809

$$y = -0.029x^2 + 17.279x + 4266.957$$

$$(R^2 = 0.9274; n = 30)$$

(1)

式中 y ——棉花籽棉产量, kg/hm²

x ——施纯氮量, kg/hm²

对式(1)求偏导,得到最高籽棉产量为 6 812.7 kg/hm²,对应的施氮量为 294.7 kg/hm²。此施氮量为全生育期总施氮量,可以作为追施氮肥总量的参考。

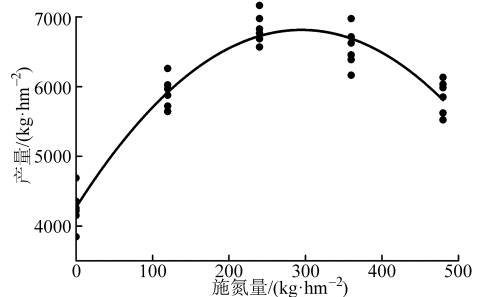


图 4 棉花总施氮量与产量的关系

Fig. 4 Relation of yield and total nitrogen application rate of cotton

2.4 棉花营养诊断 NDVI 临界值的确定

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,此时的施肥量为经济最佳施肥量(按尿素 1.8 元/kg,籽棉 8.5 元/kg)。对式(1)求导,得到经济最佳施肥量为 216.5 kg/hm²,其对应的最佳产量为 6 669.8 kg/hm²。

棉花 NDVI 值与产量之间的回归关系为氮素定量化诊断追肥提供了依据。以达到经济最佳产量对应的 NDVI 值作为临界值(表 2),当测定值低于临界值时,需要补充氮肥,即通过追肥的方式提供氮肥,否则表明该时期不用施肥。

2.5 基于冠层 NDVI 棉花氮素追肥模型的建立

根据棉花各生育期的 NDVI 值与各生育期施氮总量的线性关系(图 2),以及临界 NDVI 值,可以建立 NDVI 值诊断追肥模型。

各生育期 NDVI 值和 N_{con} (前一次的氮肥水平)之间具有线性回归关系为

$$R_{NDVI} = a + bN_{con} \quad (2)$$

各生育期阶段追肥量 N_d 为

$$N_d = N_{opt} - N_{con} \quad (3)$$

将式(1)代入式(2),得到 NDVI 值诊断推荐追肥模型

$$N_d = N_{opt} + a/b - R_{NDVI}/b \quad (4)$$

式中 R_{NDVI} ——NDVI 值 N_{opt} ——追肥总量

a ——施氮量与 NDVI 值线性方程的截距

b ——施氮量与 NDVI 值线性方程的回归系数

将 $N_{opt} = 294.7 \text{ kg/hm}^2$ 以及 a 、 b 值代入式(4),可以得到各生育期推荐追肥模型(表3)。依据氮肥

推荐模型和 GreenSeeker 的 PDA 上 NDVI 显示的数据格式,计算出各生育期 NDVI 值变动 0.001 单位的施氮量,并依此进行棉花氮肥推荐。

$$N_d = R_{NDVII} - 1000R_{NDVII} N_{NDVI} \quad (5)$$

式中 R_{NDVII} ——临界 NDVI 值

R_{NDVII} ——实测 NDVI 值

N_{NDVI} ——各生育期 NDVI 值变动 0.001 的施氮量, kg/hm^2

表3 棉花各生育期氮肥推荐模型

Tab.3 Recommended nitrogen application model at various growth stages of cotton

生育期	a	b	模型	NDVI 值每变动 0.001 单位施氮量/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$
盛蕾期	0.5589	0.0041	$N_d = 431.0 - R_{NDVI}/0.0041$	0.24
花期	0.6858	0.0011	$N_d = 918.2 - R_{NDVI}/0.0011$	0.91
盛铃期	0.8237	0.0009	$N_d = 1324.3 - R_{NDVI}/0.0009$	1.11
初絮期	0.7480	0.0062	$N_d = 415.3 - R_{NDVI}/0.0062$	0.16

2.6 追肥模型的田间验证

依据 2011—2012 年建立的棉花氮量 NDVI 追肥模型以及相关参数对 2013 年棉花光谱推荐施肥。结果表明,推荐追肥平均施氮量 307.8 kg/hm^2 ,标准误差为 18.8 kg/hm^2 ,与常规施肥处理施肥差异显著,而产量与常规施肥处理差异不显著(表4),表明在保证产量的前提下,光谱推荐可减少施氮量。棉

花推荐施氮量从盛蕾期到初絮期标准误差逐渐减小,经光谱推荐施肥处理的产量明显小于常规处理的标准误差(表4)。这是由于前期地力条件差异,导致棉花生长不一致,NDVI 值差异大导致推荐追肥量标准误差大的原因,推荐根据棉花营养状况变量施肥,这种施肥方式可缩小土壤肥力的差异,使棉花生长状况基本一致,棉花产量差异减小。

表4 棉花光谱模型推荐施肥处理和常规施肥处理的施氮量、产量比较

Tab.4 Comparison of nitrogen application rates and yield between nitrogen strategy models on spectrum and conventional fertilization treatments kg/hm^2

处理	各生育时期氮肥施用量					总施氮量	产量
	基肥	追肥					
		盛蕾期	花期	盛铃期	初絮期		
推荐施肥	96.0	35.1 ± 3.6	48.2 ± 2.3	90.9 ± 1.5	15.9 ± 1.4	286.1 ± 18.8^a	6727.9 ± 56.4^a
常规施肥	96.0	48.0	64.0	96.0	16.0	320.0^b	6655.3 ± 128.0^a

3 讨论

施氮量与 NDVI 线性关系表明,NDVI 值能很好地反映氮素营养状况,这与卢艳丽等^[19]和胡昊等^[20]的观点一致。从不同施氮水平 NDVI 的动态变化可知随施氮量的逐渐增加,棉花冠层 NDVI 值增大,但施氮量达到一定程度(盛铃期),NDVI 值不再增高,这与郭建华等^[21]利用 GreenSeeker 获得玉米 NDVI 值的研究结果一致。应用 GreenSeeker 主动遥感光谱仪可以进行棉花氮素营养诊断,NDVI 值的变化可以对棉花氮素营养状况进行定量评估,进而指导施肥。

在新疆棉区应用滴灌随水追肥技术具有将肥料在空间和时间上合理均匀分配的特点,与常规灌溉

条件下的氮素管理相比易于精准管理。这为棉花各生育期进行光谱氮素诊断的应用提供了依据,同时便于棉花各生育期定量追肥。本文通过经济最佳产量确定各关键生育期临界 NDVI 值,结合氮肥效应函数确定的全生育期总施氮量(294.7 kg/hm^2)建立了盛蕾期、花期、盛铃期和初絮期氮素推荐模型。当实际测定的 NDVI 值高于临界值时则不施肥,低于临界值时根据不同生育期 NDVI 值变化 0.001 单位的施氮量进行施肥指导。该推荐模型的建立避免了一般的追肥推荐只能确定总追肥量的缺点,且符合棉花实际生产中分次追肥的施肥管理。

本研究只在棉花单一品种及常规栽培模式(一膜两管四行)下进行了研究,模型的普适性和广泛性还有待进一步的研究;且本文只研究了棉花地上

部分的营养状况而没有考虑土壤养分状况,而光谱诊断推荐施肥量的确定,还应依赖于土壤供氮量、氮肥利用率等的精确估算。因而,今后应在本地区多品种、各栽培模式和不同土壤状况对氮素推荐模型方面进行完善,并对棉花追肥效果进行长期验证,以确定各生育期的氮素利用率。

4 结论

(1)不同氮处理间冠层 NDVI 值的动态变化趋势具有明显的一致性,总体上施氮量增加棉花冠层 NDVI 值增大。但在氮肥增加到一定量时,NDVI 值不再增加。在棉花盛蕾期、花期、盛铃期和初絮期,随着氮肥施用量的增加,棉花 NDVI 值均呈线性增加的趋势。应用 GreenSeeker 主动遥感光谱仪可以

比较准确地推测和诊断氮素营养水平。

(2)通过氮肥效应函数得到最高籽棉产量为 $6\ 812.7\ \text{kg}/\text{hm}^2$,对应的施氮量为 $294.7\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。此施肥量为全生育期总施氮量,可以作为追肥总量的参考。依据经济最佳产量得到盛蕾期、花期、盛铃期和初絮期 NDVI 的临界值分别为 0.695、0.833、0.881 和 0.809,以此可判断是否需要追肥。

(3)利用 NDVI 与施肥量、产量的关系、追肥模型及相关参数得到盛蕾期、花期、盛铃期和初絮期 NDVI 每变化 0.001 单位所需的施肥量分别为 0.24、0.91、1.11 和 $0.16\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。经田间验证在保证产量的前提下,光谱推荐可保证目标产量同时减少施肥量,缩小地力之间的差异,达到按需施肥的目的。

参 考 文 献

- 贾良良,寿丽娜,李斐,等. 遥感技术在植物氮营养诊断和推荐施肥中的应用之研究进展[J]. 中国农学通报, 2007, 23(12): 396-401.
Jia Liangliang, Shou Lina, Li Fei, et al. Overview of remote sensing technology be used in plant nitrogen status diagnosis and N fertilizer recommendation[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(12): 396-401. (in Chinese)
- 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): 541-545.
Liu Hongping, Tian Changyan, Ma Yingjie. Study on the recognition of N-nutrient in cotton plants and the development of the recommended index system for applying nitrogenous fertilizer[J]. Arid Zone Research, 2005, 22(4): 541-545. (in Chinese)
- 危常州,张福锁,朱和明. 新疆棉花氮营养诊断及追肥推荐研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(12): 1500-1505.
Wei Changzhou, Zhang Fusuo, Zhu Heming. Study on cotton nitrogen diagnosis and topdressing recommendation in North Xinjiang [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35(12): 1500-1505. (in Chinese)
- 周娜娜,秦亚兵,许强,等. 马铃薯氮素营养诊断及追肥推荐模型的研究[J]. 宁夏农林科技, 2004(2): 1-2.
Zhou Nana, Qin Yabing, Xu Qiang, et al. Study on the recognition of N-nutrient in potato and the development of model for applying nitrogenous fertilizer[J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2004(2): 1-2. (in Chinese)
- Zhang J H, Wang K, Bailey J S, et al. Predicting nitrogen status of rice using multispectral data at canopy scale[J]. Pedosphere, 2006, 16(1): 108-117.
- 于静,李斐,樊明寿. 主动作物冠层传感器 GreenSeeker 在马铃薯氮素营养诊断中应用的可行性分析[J]. 中国蔬菜, 2012(8): 20-25.
Yu Jing, Li Fei, Fan Mingshou. Possible application of GreenSeeker in diagnosing potato nitrogen nutrition status[J]. China Vegetables, 2012(8): 20-25. (in Chinese)
- 陈青春,蒋锋,王晓明,等. 作物追氮模型的研究进展[J]. 仲恺农业工程学院学报, 2012, 25(1): 67-70.
Chen Qingchun, Jiang Feng, Wang Xiaoming, et al. Proceeding of research on nitrogen fertilization model of crop[J]. Journal of Zhongkai University of Agriculture and Engineering, 2012, 25(1): 67-70. (in Chinese)
- 潘薇薇,危常州,丁琼. 膜下滴灌棉花氮素推荐施肥模型的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 204-210.
Pan Weiwei, Wei Changzhou, Ding Qiong. Nitrogenous fertilizer recommendation model for cotton under mulch-drip irrigation[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15(1): 204-210. (in Chinese)
- 李刚华,丁艳峰,薛利红,等. 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.
- 赵英时. 遥威应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社, 2003: 372-412.
- Lukina E V, Freeman K W, Wynn K J, et al. Nitrogen fertilization optimization algorithm based on in-season estimates of yield and plant nitrogen uptake[J]. Journal of Plant Nutrition, 2001, 24(6): 885-898.
- Phillips S B, Keathey D A, Warren J G. Estimating winter wheat tillering desity using spectral reflectance sensors for early-spring, variable-rate nitrogen application[J]. Agronomy Journal, 2004, 96: 591-600.
- Marisol B R. Monitoring nitrogen levels in the cotton canopy using real time active illumination spectral sensing[D]. Tennessee, USA: University of Tennessee, 2010.
- 宋文冲. 基于 GreenSeeker 遥感技术的小麦-玉米估产模型及推荐施肥研究[D]. 北京:中国科学院, 2006.

- Song Wenchong. Yield forecasting model and recommended fertilization of wheat and corn research based on GreenSeeker remote sensing technology[D]. Beijing: Academia Sinica, 2006. (in Chinese)
- 15 冯宗会. 不同水氮管理下 NDVI 监测及优化施氮研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2012.
Feng Zonghui. A study in normalized difference vegetation index monitoring and optimization of nitrogen application with different levels of water and nitrogen[D]. Beijing: Capital Normal University, 2012. (in Chinese)
- 16 覃夏, 王绍华, 薛利红. 江西鹰潭地区早稻氮素营养光谱诊断模型的构建与应用[J]. 中国农业科学, 2011, 44(4): 691 - 698.
Qin Xia, Wang Shaohua, Xue Lihong. Nitrogen nutrition diagnosis of early rice with NDVI and its application for nitrogen topdressing recommendation at Yingtan, Jiangxi Province [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(4): 691 - 698. (in Chinese)
- 17 Li F, Miao Y X, Chen X P, et al. Estimating winter wheat biomass and nitrogen status using an active crop sensor [J]. International Journal of Intelligent Automation Soft Computing, 2010, 16: 1219 - 1228.
- 18 Heege H J, Reusch S, Thiessen E. Prospects and results for optical systems for site-specific on-the-go control of nitrogen-topdressing in Germany [J]. Precision Agriculture, 2008, 9(3): 115 - 131.
- 19 卢艳丽, 自由路, 杨俐苹, 等. 利用 GreenSeeker 法诊断春玉米氮素营养状况的研究 [J]. 玉米科学, 2008, 16(1): 111 - 114.
Lu Yanli, Bai Youlu, Yang Liping, et al. Diagnosis on nitrogen status using GreenSeeker in spring maize [J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(1): 111 - 114. (in Chinese)
- 20 胡昊, 自由路, 杨俐苹, 等. 基于 SPAD - 502 与 GreenSeeker 的冬小麦氮营养诊断研究 [J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 748 - 752.
Hu Hao, Bai Youlu, Yang Liping, et al. Diagnosis of nitrogen nutrition in winter wheat (*Triticum aestivum*) via SPAD - 502 and GreenSeeker [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(4): 748 - 752. (in Chinese)
- 21 郭建华, 王秀, 孟志军, 等. 主动遥感光谱仪 Greenseeker 与 SPAD 对玉米氮素营养诊断的研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(1): 43 - 47.
Guo Jianhua, Wang Xiu, Meng Zhijun, et al. Study on diagnosing nitrogen nutrition status of corn using Greenseeker and SPAD meter [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(1): 43 - 47. (in Chinese)

Diagnosis of Nitrogen Nutrition and Recommended Model of Topdressing for Cotton

Li Xinwei Lü Xin Zhang Ze Chen Jian Shi Honggang Tian Min

(Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang Bingtuan, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract: A recommended nitrogen topdressing model was built up using normalized difference vegetation index (NDVI) of cotton canopy, which was obtained by active GreenSeeker sensor for diagnosing the nitrogen nutrition in cotton plant, and the precise management of nitrogen nutrition for cotton by topdressing was realized. The field test data treated with different nitrogen fertilizer levels in 2011 and 2012 were obtained, and the quantitative correlations between NDVI and fertilizer rate as well as NDVI and yield of cotton were established. Combining with the nitrogen fertilizer effect function, the best nitrogen application rate was calculated, and the nitrogenous fertilizer recommendation model based on spectra was established and verified by field test data of 2013. The results suggested that NDVI of cotton canopy increased with the increase of nitrogen fertilizer level, and then stopped increasing when nitrogen fertilizer was up to a certain level. The NDVI of cotton canopy presented a liner increasing trend with nitrogen fertilizer rate increasing in four growth stages, full bud, flowering, full boll and early wadding stages, and the corresponding thresholds of NDVI were 0.695, 0.833, 0.881 and 0.809, respectively, when the total application rate of nitrogen fertilizer was 294.7 kg/hm² during the whole growth period of cotton. In addition, as NDVI decreased by 0.001 from the thresholds, the amounts of applied nitrogen fertilizer were 0.24, 0.91, 1.11 and 0.16 kg/hm² at four different stages, respectively. Field experiment illustrated that the nitrogenous fertilizer recommendation model could reduce the fertilizer application rate under guaranteeing the cotton yield.

Key words: Cotton nitrogen Diagnosis of nutrition Topdressing model NDVI