

应用土壤无机氮测试进行棉花氮肥推荐研究

陈志超^{1,2}, 田长彦^{1*}, 马英杰¹, 刘宏平^{1,2}

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 在南疆滴灌条件下进行氮肥大田试验, 对应用土壤无机氮测试进行棉花氮素营养诊断及氮肥推荐进行了研究。结果表明, 滴灌随水追肥技术有明显的增产节肥作用。在取得皮棉 2728.8 kg·hm⁻² 时, 需施氮 229.5 kg·hm⁻²。考虑土壤供氮能力, 通过测定各生育期不同层次土壤供氮量, 发现其与产量有很好的相关性, 确定了相应的供氮量临界值。0~40 cm 土壤供氮量对棉花产量有很大的贡献, 40 cm 以上层次的土壤无机氮可以表征土壤供氮能力。以 0~20 cm 土壤无机氮为氮素诊断指标, 由土壤无机氮推荐施肥表, 估算出了棉花各生育期应采用的氮肥追施用量。

关键词: 土壤无机氮; 氮肥推荐; 滴灌; 棉花

中图分类号: S562.062 **文献标识码:** A

文章编号: 1002-7807(2006)04-0242-06

Study on Cotton Nitrogen Recommendation Based on Soil Inorganic Nitrogen Test

CHEN Zhi-chao^{1,2}, TIAN Chang-yan¹, MA Ying-jie¹, LIU Hong-ping^{1,2}

(1. *Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China*; 2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract: The experimental area is located in Kongque Farm, Yuli County, Xinjiang. In the area the annual precipitation is 45 mm only, the annual evaporation, however, is as high as 2200 mm. The area is rich in sunshine, the sunshine duration is 3023 hours, the accumulated temperature ($\geq 10^{\circ}\text{C}$) is 4200 $^{\circ}\text{C}$, and the frost-free period is 184 days. Based on field fertilizer experiment of cotton under drip irrigation in the area, cotton nitrogen diagnosis and nitrogen fertilizer recommendation with soil inorganic nitrogen quick test was studied. Results showed that drip fertilization had the significant effects on yield. The reasonable amount of nitrogen needed for getting the highest lint yield of 2728.8 kg·hm⁻² was 229.5 kg·hm⁻². By considering soil capacity to supply nitrogen, the relationship between cotton yield and soil plus fertilizer N supply capacity was established, then the optimum N supply of different soil lay was calculated by testing inorganic nitrogen concentration in different soil lay before sowing. The nitrogen needed for optimum yield of cotton were 244.8, 261.9, 282.7 kg·hm⁻² based on Nmin concentration of soil layers in 0~20 cm, 0~40 cm and 0~60 cm, respectively. Soil plus fertilizer N supply capacity in different growth stage were significantly correlated with lint cotton yield, thus the critical value for different soil lay N supply were established. Among three soil lays, 0~40 cm N supply had the great works to cotton yield, and the inorganic nitrogen of upper 40 cm soil can represent the soil N-supplying capacity. The concentration of inorganic nitrogen in topsoil (0~20 cm) should be an available diagnosis index for nitrogen topdressing recommendation. According to the index and the critical value of N supply, the rate of nitrogen topdressing of different growth stage

收稿日期: 2005-11-04; **作者简介:** 陈志超(1980-), 男, 硕士, logczc@163.com; **通讯作者:** tianchy@ms.xjb.ac.cn

基金项目: 中国科学院农办项目(NB15-E-02)、农业部“引进国际先进农业科学技术”重大国际合作项目(2003-Z53)和新疆自治区重点科技攻关项目(2001BA507A04-P02)资助。

should be calculated.

Key words: soil inorganic nitrogen; nitrogen fertilizer recommendation; drip irrigation; cotton

土壤无机氮(或称矿质氮,包括 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$,简称 Nmin)与施入土壤的速效氮肥是等效的,是国外在作物推荐施肥中广泛采用的诊断指标^[1-2]。在许多地方利用 Nmin 进行氮肥推荐时,用播前一定土层累积 Nmin 作为土壤供氮指标,根据目标产量确定合理的氮肥用量^[3-4]。该方法在淋溶较弱的地区尤其适宜。

在我国,随着土壤—植株快速测试推荐施肥技术体系的建立^[5],应用土壤无机氮测试对小麦、玉米、蔬菜等作物的氮肥推荐进行了广泛的研究^[6-8],并在生产中初步应用。该方法在棉花推荐施肥上的应用较少。在南疆高产棉区出现施肥量偏高以及氮肥施用不合理的现象,该地区干旱、降雨量少的气候特点,为应用土壤无机氮测试进行氮肥推荐提供了可能。本研究通过滴灌条件下的氮肥试验,采用土壤 Nmin 测试方法对棉花播前及生育期供氮量与产量的关系进行了系统研究,建立了土壤 Nmin 测试的氮肥推荐指标,以期为滴灌棉田氮肥的合理调控提供理论依据。

表 1 试验地 0~70 cm 土壤基本农化性状

Table 1 The basic properties of soil layers in 0~70cm at the experiment field

土壤层次 /cm	有机质 /(g·kg ⁻¹)	全氮 /(g·kg ⁻¹)	全磷 /(g·kg ⁻¹)	全钾 /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 /(mg·kg ⁻¹)
0~30	11.97	0.63	0.82	8.72	51.14	23.32	105.00
30~50	7.50	0.57	0.56	9.73	38.17	1.86	96.00
50~70	5.84	0.31	0.54	15.53	27.16	0.93	93.00

表 2 播前土壤无机氮含量

Table 2 The $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration in soil profile before sowing

土壤层次 /cm	硝态氮 /(mg·kg ⁻¹)	铵态氮 /(mg·kg ⁻¹)	无机氮 /(kg·hm ⁻²)
0~20	2.55	3.02	15.14
20~40	3.34	2.86	16.99
40~60	4.96	2.51	20.62
60~100	7.25	2.12	51.70
100~140	6.56	3.60	56.08
140~200	3.95	2.42	52.76

供试棉花品种为巴棉 3 号。4 月 15 日播种,9 月初收获。地膜覆盖,一膜 4 行,膜上点播。定苗后棉花密度为 20.5 万株·hm⁻²。膜下滴灌,全

1 材料和方法

1.1 试验方法

试验于 2004 年 4—10 月在新疆尉犁县孔雀农场进行。试验区年平均降雨量为 45 mm,年平均蒸发量为 2200 mm,日照时数 3023 h,≥10℃ 积温 4200℃,无霜期 184 d。试验地土壤质地为壤土,主要化学性状及播前土壤无机氮含量见表 1、2。

试验设 6 个氮肥处理,各处理纯氮用量分别为 0、112.5、180、225、270、337.5 kg·hm⁻²。全部作为追肥,按蕾期和花铃期各占总量 1/3、2/3 的比例随水追施。各处理重复 3 次,随机区组排列,每小区的施肥由副管和施肥罐控制。小区面积为 79.56 m²(1.7 m×3×15.6 m,即 3 个播幅宽度,15.6 m 长)。各处理播前均基施 P_2O_5 150 kg·hm⁻², K_2O 90 kg·hm⁻²。氮、磷、钾肥的品种分别为尿素、重过磷酸钙和硫酸钾。

生育期灌水量为 4275 m³·hm⁻²,以苗期-蕾期灌水 30%,花铃期灌水 70%的比例进行分配。棉花生育期灌水和各处理施肥情况见表 3。

1.2 测定项目

1.2.1 土壤无机氮(Nmin)的测定。采样方法为:用土钻分层取 0~1 m 土体土样,每 20 cm 为一层,在试验地均匀取 6 个点(钻),每个层次混合成一个混合样;蕾期、花期和铃期追肥前,各小区分别取样,小区内宽窄膜各取一点,分 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 三层取样,同层混合,每次土壤样品取后立即冰冻保存。样品处理和测定步骤如下:解冻后,将样品充分混匀过 2 mm 筛,称取 10 g 土壤样品,加入 0.01 mol·L⁻¹ 100 mL 的 CaCl_2 ,振荡 60 min 后过滤,浸提液立刻冰冻保

表3 棉花不同生育期灌水量及各处理氮肥用量

Table 3 The amount of water and N rates applied of treatments at the different growth stages of cotton

生育期 (月-日)	苗期		蕾期			花期		铃期					合计	
	05-27	06-06	06-13	06-20	06-27	07-04	07-11	07-18	07-25	08-01	08-08	08-16		08-26
灌水量 ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	105	225	225	300	450	450	450	495	375	375	300	300	225	4275
N ₀			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N ₁			11.25	11.25	15.0	15.0	15.0	15.0	11.25	11.25	7.5			112.5
施氮量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)			18.0	18.0	24.0	24.0	24.0	24.0	18.0	18.0	12.0			180.0
N ₃			22.5	22.5	30.0	30.0	30.0	30.0	22.5	22.5	15.0			225.0
N ₄			27.0	27.0	36.0	36.0	36.0	36.0	27.0	27.0	18.0			270.0
N ₅			33.75	33.75	45.0	45.0	45.0	45.0	33.75	33.75	22.5			337.5
氮肥比例/%			10.0	10.0	13.3	13.3	13.3	13.3	10.0	10.0	6.7			100.0

存。测定前将浸提液解冻,利用流动分析仪 AA3 (德国 BRAN+LUEBBE 公司)测定土壤硝态氮和铵态氮含量。在土壤处理的同时,测定土壤含水量。根据测定的各个土壤层次的新鲜土样的无机氮浓度、土壤容重及其相应的土壤含水量,计算各个土壤层次的无机氮绝对含量。

1.2.2 产量及产量结构的测定。9月初进行实收,称量并记录小区各次收获的子棉产量。收获期每小区选取 20 株长势均匀棉株,调查其成铃数并测定各次收获的单铃重。

1.2.3 数据采用 Excel 统计工具包进行分析。

2 结果与分析

2.1 氮肥用量对棉花产量及产量结构的影响

试验结果表明,在滴灌条件下,氮肥施用量会影响棉花的产量及各产量构成因素(表 4)。单株成铃数表现为 $N_5 > N_4 > N_3 > N_2 > N_1 > N_0$,随着施氮量的增加,单株铃数明显增多。铃重为 $N_4 > N_5 > N_3, N_2 > N_0 > N_1$ 。

在滴灌棉田不同施氮量条件下,棉花产量以 N_2 处理最高,其次为 N_3 ;当施肥量增加至 N_4, N_5 时,产量有下降的趋势。用一元二次方程对棉花的氮肥效应进行拟合,得出施肥量与棉花产量的相关关系如下:

$$y = -0.0051x^2 + 2.3415x + 2460 \quad R^2 = 0.491^{**}$$

其中 y 为皮棉产量, x 为施氮量。

对上式求偏导,得到最佳施氮量为 $229.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,对应的最佳皮棉产量为 $2728.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。 $229.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 为全生育期总施氮量,可以作为施肥总量的参考。

表4 不同氮肥用量棉花产量及产量结构

Table 4 Yield of cotton and yield components at the different nitrogen application

处理	株铃 数/个	铃重 / $\text{g} \cdot \text{个}^{-1}$	衣分 /%	实收子棉 皮棉	
				/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
N ₀	6.47	5.09	42.0	5672.1b	2382.28
N ₁	6.90	5.00	42.0	6144.0a	2580.73
N ₂	7.02	5.04	42.0	6584.2a	2765.36
N ₃	7.30	5.04	42.0	6497.4a	2728.91
N ₄	7.33	5.17	42.0	6372.8a	2676.58
N ₅	7.68	5.13	42.0	6419.0a	2695.98

2.2 棉花产量与供氮量的关系及最佳供氮量的确定

播前一定深度土壤无机氮是上季作物的氮肥残效,与施入土壤中的速效氮肥是等效的,表征土壤供氮能力。同时,生育期施用了大量氮肥,无法区分土壤供氮能力与肥料氮对作物产量的贡献。因此,在建立棉花产量与土壤无机氮的关系时,采用供氮量(一定层次土壤无机氮含量与施氮量之和)这一指标与作物产量进行相关分析。

结果表明,棉花皮棉产量与供氮量之间有很好的相关性,各采样深度的供氮量与产量之间的相关性都达到了极显著(图 1)。本研究以最高产量时的供氮量为最佳供氮量,依此原则,在以 $0 \sim 20, 0 \sim 40, 0 \sim 60 \text{ cm}$ 不同层次供氮量为供氮指标时,相应的最佳供氮量分别为 $244.8, 261.9, 282.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。可以看出,随着采样深度的增加,土壤供氮能力逐步增加,不同采样深度所对应的最佳供氮量也逐渐增加。

最佳供氮量指标可以为确定氮肥总量或基肥量提供参考。在应用时,测定播前土壤 N_{min} 值,

N_{min} 值与最佳供氮量的差值即为肥料总用量,再按照适当的基肥施用比例,就可以确定基肥用量。本试验没有涉及滴灌棉花基肥用量及比例的研究,根据滴灌棉田施肥特点和经验,通常将总施氮量的 20% 作为基肥在播前施入^[9]。氮肥总量及基肥量可以由以下公式确定:

$$N = N_{opt} - N_s \quad (1)$$

$$N_b = (N_{opt} - N_s) \times 20\% \quad (2)$$

其中, N 为氮肥总量, N_b 为基肥用量, N_{opt} 为一定土层最佳供氮量, N_s 为播前相应层次无机氮含量。

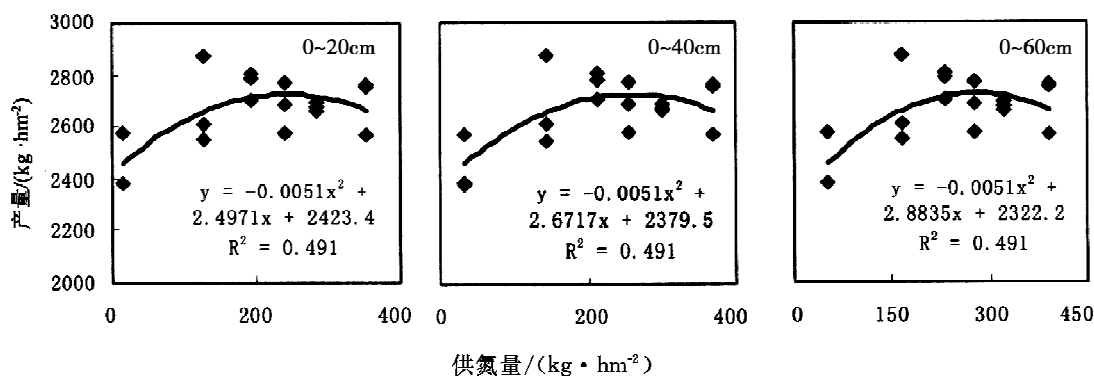


图 1 棉花产量与供氮量的关系(播前土壤无机氮+肥料氮)

Fig. 1 The relationship between cotton yield and rates of N supplied (Soil N_{min} before sowing + nitrogen fertilizer)

2.3 棉花各生育期供氮量与产量的关系及氮肥追肥推荐指标

2.3.1 生育期不同层次土壤供氮量与产量的关系及诊断指标的确定。在棉花各生育期,测定了根层各层次土壤无机氮含量。结果表明,棉花产量与各生育期供氮量(土壤无机氮+肥料氮)有很好的相关性,二者之间关系可以用二次曲线进行拟合(图 2)。同时,同一时期不同采样深度下的供氮量与产量之间的相关系数有较大差异。比较各层次供氮量与棉花产量的关系,以 0~20 cm 相关系数最高且稳定,0~40 cm 与其接近。而 0~60 cm 供氮量在蕾期、花期、铃期与产量间的相关性逐渐增强。这主要是由于在棉花生育前期,根系受其自身发育以及滴灌表层水分诱导作用,主要分布在 40 cm 以上的较浅土层^[9-10],深层养分很难被根系大量吸收利用;进入花铃期,随着根系发育,能够吸收较深层次养分,40~60 cm 这部分土层养分逐渐对产量起到贡献作用。综上所述,0~40 cm 以上层次土壤无机氮可以稳定地表征棉花生育期的土壤供氮能力,可以作为各生育期追肥推荐的诊断指标。

对各时期的方程求偏导,可以得到蕾期、花期和铃期最高产量时各层次土壤供氮量,即各生育

期供氮量的临界值(表 5)。可以看出,随着进入生育后期,棉花对氮素养分需求增大,0~20 cm 和 0~40 cm 土壤供氮能力的临界水平随之升高。供氮量的临界值为各生育期追肥量的确定提供了前提。

表 5 棉花产量与各生育期供氮量的相关性
及临界供氮量

Table 5 The coefficient of determination between cotton yield and soil plus fertilizer N supply capacity of different growth stage and the critical value of N supplied

生育期	诊断指标	决定系数 R^2	临界供氮量 /($kg \cdot hm^{-2}$)
蕾期	0-20 cm 供氮量	0.746**	103
	0-40 cm 供氮量	0.782**	151
	0-60 cm 供氮量	0.195	-
花期	0-20 cm 供氮量	0.599**	112
	0-40 cm 供氮量	0.511*	156
	0-60 cm 供氮量	0.402*	230
铃期	0-20 cm 供氮量	0.620**	163
	0-40 cm 供氮量	0.585**	194
	0-60 cm 供氮量	0.547**	227

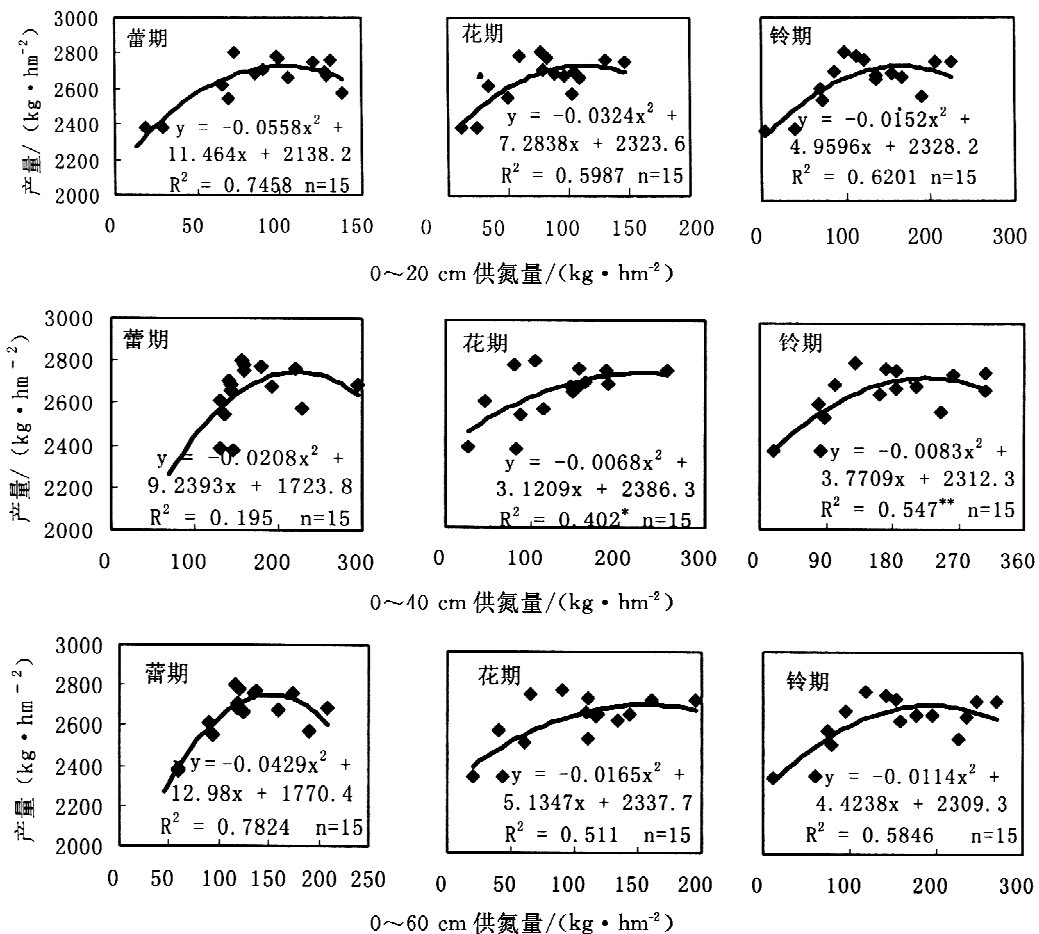


图 2 棉花产量与各生育期不同层次土壤供氮量的关系

Fig. 2 The relationship between cotton yield and rates of N supplied of different soil layer in different growth stage.

2.3.2 各生育期 0-20 cm 土壤 Nmin 测试推荐指标的建立。以 0~20 cm 土壤 Nmin 测定值为氮素诊断指标,各生育期的追肥推荐量可以通过测定值与临界值的差值来确定:

$$N = C - T \quad (3)$$

N 为追肥量, C 为各生育期供氮量的临界值, T 为 0~20 cm 土壤 Nmin 测定值, 单位均为 kg·hm⁻²。

根据式(3)可以计算出 0~20 cm 土壤 Nmin 测定值的氮肥追肥用量(表 6)。

在应用表 6 进行推荐追肥时, 土壤无机氮测定值为各生育期追肥前无机氮含量初始值, 测定值对应的追肥量为各生育期的阶段施肥量。在确定阶段施肥量基础上, 可根据各生育期施肥次数和各次用量比例进行追肥。在有充分水源保证灌溉的条件下, 建议蕾期、花期和铃期的施肥次数分别为 3、2 和 4 次。蕾期的 3 次施肥比例可依次增加, 花期两次均可均匀施入, 铃期 4 次比例应遵循逐渐降低的原则。

表 6 0~20 cm 土壤无机氮测定值和棉花各生育期氮肥追肥推荐表

Table 6 Nmin concentration of soil layers in 0~20 cm and the recommended Topdressing quantities of nitrogen fertilizer at different cotton growth stage

Nmin 测定值 /(kg·hm ⁻²)	各生育阶段追氮量/(kg·hm ⁻²)		
	蕾期	花期	铃期
<20	>83	>92	>143
20~40	63~83	72~92	123~143
40~60	43~63	52~72	103~123
60~80	23~43	32~52	83~103
80~100	3~23	12~32	63~83
100~120	0~3	0~12	43~63
120~140	0	0	23~43
140~160	0	0	3~23
>160	0	0	<3

3 结论与讨论

由肥料效应方程得到的最佳施肥量, 可以作为某一地区的施肥量参考, 但不能准确指导下季作物的施肥。由于该方法仅强调肥料而忽视了土

壤供氮能力对作物产量的贡献,同时也没有考虑气候等条件对作物生长状况的影响,这就降低了推荐施肥的准确性。

供氮量同时考虑土壤供氮能力与肥料氮对作物产量的贡献,弥补了肥料效应函数法在推荐施肥中的不足。本研究以一定深度土壤无机氮含量表征土壤供氮能力。通过测定播前不同层次土壤无机氮含量,建立供氮量与棉花产量的关系,得到最佳供氮量,为氮肥总量及基肥量的确定提供参考。在此基础上,在棉花各生育期追肥时,继续采用一定深度土壤无机氮测试进行追肥推荐。在生育期测定一定深度土壤无机氮含量,建议滴灌棉田将 40 cm 以上土壤无机氮测定值作为氮素诊断指标为宜。本研究以各生育期 0~20 cm 土壤无机氮测定值与其临界值的差值确定了棉花各生育期的追肥量。

将土壤 Nmin 测试应用到棉花生育期氮素诊断中,不仅考虑了土壤的供氮能力,而且通过动态监测各生育期土壤养分状况,在考虑生育期氮素矿化的基础上推荐生育期追肥量,指导各阶段施肥,逐步实现了棉花全生育期氮肥的准确合理调控。滴灌棉田生育期少量多次的追肥特点,使得氮肥的阶段性推荐显得尤为重要。本研究证明,应用土壤 Nmin 测试方法可以准确反映棉花生育期土壤供氮能力,满足了滴灌条件对氮肥推荐和合理施用的较高要求,对指导滴灌棉田氮肥的准确合理推荐有重要的意义。

参考文献:

- [1] NEETESON J J, Zwetsloot H J C. An analysis of the response of sugar beet and potatoes to fertilizer nitrogen and soil mineral nitrogen[J]. *Agr Sci*, 1989, 37: 129-141.
- [2] SAINTFORT R, Schepers J S, Spalding R F. Potentially mineralizable nitrogen and nitrate leaching under different land-use conditions in Western Nebraska [J]. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 1991, 26(3): 335-345.
- [3] VILLAR-MIR J M, Villar-Mir P, Stockle C O, et al. On-farm monitoring of soil nitrate nitrogen in irrigated cornfields in the Ebro Valley [J]. *Agron J*, 2002, 94: 373-380.
- [4] MAGDOFF F. Understanding the Magdoff pro-side-dress nitrate test for corn [J]. *J Prod Agric*, 1991, 4: 297-305.
- [5] 陈新平,李志宏,王兴仁,等. 土壤、植株快速测试推荐施肥技术体系的建立与应用 [J]. *土壤肥料*, 1999 (2): 6-10.
- [6] 李志宏. 土壤、植株测试推荐施肥技术的研究及应用 [D]. 北京: 中国农业大学, 1999: 25-35.
- [7] 黄生斌,陈新平,张福锁. 不同品种冬小麦土壤及植株测试氮肥推荐指标的研究 [J]. *中国农业大学学报*, 2002, 7(5): 26-31.
- [8] 张宏彦,陈清,李晓林,等. 利用不同土壤 Nmin 目标值进行露地花椰菜氮肥推荐 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(3): 342-347.
- [9] 马富裕,周治国,郑重,等. 新疆棉花膜下滴灌技术的发展与完善 [J]. *干旱地区农业研究*, 2004, 22(3): 202-208.
- [10] 危常州,马富裕,雷咏雯,等. 棉花膜下滴灌根系发育规律的研究 [J]. *棉花学报*, 2002, 14(4): 209-214.

