

# 施氮量对玉米植株硝态氮含量及产量的影响

王林学<sup>1</sup>, 杨义<sup>2</sup>, 刘帮银<sup>1</sup>, 杨丽军<sup>1</sup>, 杨敏<sup>1\*</sup>

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆400716; 2. 南充农产品质量监测检验中心, 四川南充637000; 3. 重庆市合川区农技站, 重庆401519)

**摘要** [目的] 探讨施氮量对玉米不同时期硝态氮含量及产量的影响。[方法] 通过田间小区试验研究了施氮量0、150、300、450 kg/hm<sup>2</sup>对玉米植株硝态氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)含量及产量的影响。[结果] 随玉米生育期的延长玉米各部位中NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量总体上呈下降趋势; 在苗期、拔节期和灌浆期, 不施氮处理的玉米植株硝态氮含量均低于各施氮处理, 且这3个时期玉米各叶位的硝态氮含量与施氮量的相关性差异较大; 第3叶位和第6叶位的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量在不同生育期的表现为: 苗期3位叶高于6位叶, 拔节期和灌浆期6位叶高于3位叶; 3个时期的植株体内硝态氮含量, 叶鞘均明显高于叶肉, 且均在施氮量大于300 kg/hm<sup>2</sup>时氮含量增长减缓。[结论] 施用氮肥可显著提高玉米籽粒和秸秆产量, 合理施氮量应控制在300 kg/hm<sup>2</sup>左右。

**关键词** 玉米; 施氮量; 不同生育期; 硝态氮; 产量

中图分类号 S513 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)15-06404-03

## Effect of N Application Rate on Nitrate-N Content in Corn plant and Yield of Corn

WANG Lin-xue et al (College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716)

**Abstract** [Objective] This study aimed to discuss the effect of N application rate on nitrate-nitrogen (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) content and yield of corn in different growing stages. [Method] In the plot field test, the effect of applying N at 0, 150, 300, 450 kg/hm<sup>2</sup> on NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N content in corn plant and the yield of corn were studied. [Result] The NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N content in each leaf part of corn plant showed a downward tendency along with delay of corn growing stage as a whole. In seeding, jointing and filling stage, the NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N content of in the treatment without N fertilizer was lower than that in each treatments of N application. And the relativity of the NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N content in each leaf part of corn plant and N application rate had great difference in these 3 growth stages. The NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N content in the third and sixth leaf part of corn plant in these 3 growth stages showed such performance as that NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N in the third leaf part was higher than that in the sixth leaf part in seeding stage and that in the sixth leaf part was higher than that in the third leaf part in jointing and filling. The NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N content in the sheath was obviously higher than that in the leaf in these 3 growth stages and its increasing became slow when N application was higher than 300 kg/hm<sup>2</sup>. [Conclusion] N application could significantly increase the grain and straw yield of corn and the recommendatory N application rate for corn should be controlled at 300 kg/hm<sup>2</sup> under the experimental condition.

**Key words** Corn; Nitrogen rate; Different growth period; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N; Yield

氮是植物需求量最大的矿质元素, 同时也是土壤中普遍缺乏的元素。由于玉米这类禾本科植物自身不具备固氮能力, 其生长发育所需的氮素主要依靠根系从土壤中吸收, 但土壤中可利用的氮素难以满足其高产优质的需要<sup>[1]</sup>, 以施肥的方式补充土壤氮素是其优质高产的有效措施。生产上存在为追求高产而大量甚至过量使用氮肥的现象, 这不但会降低玉米的质量, 还会引起植物体内富集硝酸盐。过量施用氮肥也会降低氮素利用率, 造成地表水和地下水污染<sup>[2-5]</sup>。已有研究表明, 墨西哥玉米植株叶片、茎鞘和根系的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量有一定差异, 并且在不同时期各部位NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量也存在差异<sup>[6]</sup>。笔者探讨了施氮量对玉米不同时期硝态氮含量及产量的影响, 以期对玉米基肥和追肥的科学施用和产品安全生产提供依据。

## 1 材料与试验方法

**1.1 供试材料与试验设计** 试验设在重庆市合川区高龙镇, 该地处于亚热带湿润季风气候, 年均气温18.1℃, 年均降雨量1107.9 mm, 多集中于7~9月。供试土壤为紫色土, pH 5.3, 有机质含量18.9 g/kg, 全氮1.01 g/kg, 全磷0.741 g/kg, 全钾16.0 g/kg, 碱解氮86.0 mg/kg, 有效磷8.27 mg/kg, 速效钾97.1 mg/kg。

试验以潞玉13为供试玉米品种, 试验于2007年3月至8月进行, 种植密度为6万株/hm<sup>2</sup>, 行距83 cm, 窝距40 cm, 每窝2株。试验采用“3414”氮一元效应肥料试验方案设计, 试验

设4个处理, 各处理施肥量见表1, 磷肥在基肥中全施, 氮肥分3次施, 基肥占1/3, 追肥占2/3, 追肥分别在拔节期、灌浆期进行。所用氮肥为尿素(46%), 磷肥为过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20%), 钾肥为钾镁肥(K<sub>2</sub>O, 40%)。试验采用随机区组设计, 3次重复, 小区面积60 m<sup>2</sup>。

表1 试验设计及施肥处理

Table 1 Experiment design and fertilization treatment

处理编号 Treatment number	“3414”处理编号 “3414” treat- ment number	处理 Treatment	N kg/hm <sup>2</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/hm <sup>2</sup>	K <sub>2</sub> O kg/hm <sup>2</sup>
1	2	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0	210	150
2	3	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	150	210	150
3	6	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	300	210	150
4	11	N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	450	210	150

**1.2 样品采集方法** 采样在晴天上午8:00~11:00进行。分别在苗期、拔节期和灌浆期采集。采样时, 分别取距顶叶第3位和第6位叶片和叶鞘, 每个处理取10株组成混合样品。样品洗净后, 用无氮吸水纸擦干, 再将叶肉和叶鞘分开, 切碎混匀。

## 1.3 主要仪器和试剂

**1.3.1 主要仪器。** 便携式高强度光度计, 型号HACH DR/890, 由美国哈希公司生产。哈希公司可提供直接测硝态氮的试剂, 该仪器附带有标准硝态氮溶液浓度与吸光值所形成的曲线, 可直读待测液硝态氮浓度, 且仪器操作简单, 不需外接电源, 总重不超过2 kg, 适于现场使用。

**1.3.2 主要试剂及配制。** 0.01 mol/L EDTA提取液: 称3.722 g EDTA-2Na溶于纯水, 定容至1 L。活性炭, 应不含

作者简介 王林学(1982-), 女, 重庆人, 硕士研究生, 研究方向: 土壤化学。\* 通讯作者, 博士, 教授, E-mail: yjh@swau.edu.cn。

硝态氮。硝态氮试剂, NtraVer 5 硝酸盐试剂粉末。分析纯石英砂。

**1.4 玉米鲜样硝态氮的田间现场测定** 取切碎混匀鲜样 1.00 g 于 75 ml 玻璃研钵中, 量取 50 ml EDTA 提取剂, 从中加约 5 ml EDTA 提取剂和少许石英砂于研钵中研磨, 将剩余提取剂少量多次冲洗研钵内壁及研棒, 全部无损转移至 150 ml 三角瓶中, 加入 1.00 g 活性炭。摇匀, 放置 30 min 后, 干过滤于 100 ml 烧杯中( 弃去前 5 ml 滤液), 滤液备用( 同时做一空白)。

用移液管取 2.00 ml 滤液于 25 ml 刻度显色杯中, 用纯水

定容至 10 ml, 加入一包 NtraVer 5 硝酸盐试剂粉末, 振摇 1 min, 显色 5 min 后测定。

文中数据均采用 Excel 和 DPS 软件统计分析。

## 2 结果与分析

**2.1 施氮对玉米硝态氮吸收的影响** 由表 2 可见, 当氮肥施用量小于 300 kg/hm<sup>2</sup> 时, 不同生育期各部位硝态氮含量随施氮量的增加显著提高, 而在大于 300 kg/hm<sup>2</sup> 时, 增施氮肥对植株体内硝态氮含量增幅很小, 且在生育后期出现了抑制现象。

**2.1.1 苗期施氮对玉米各部位硝态氮吸收的影响。** 由图 1

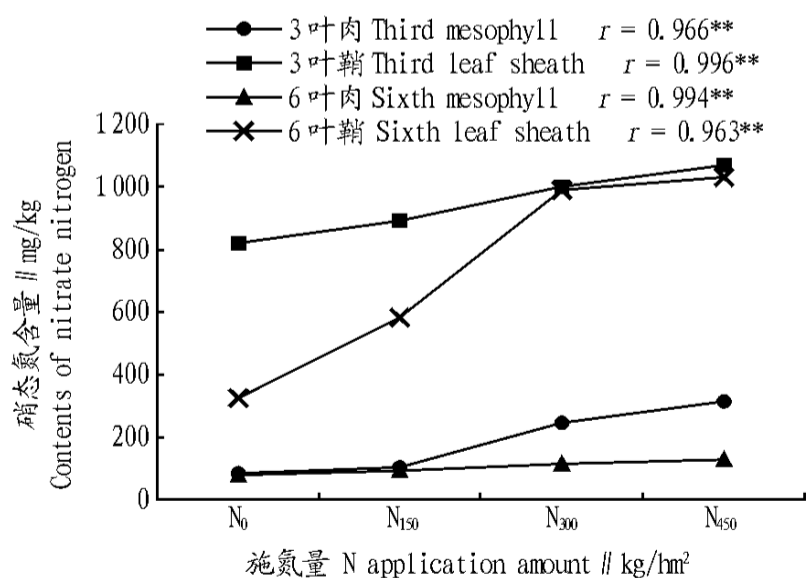
表 2 玉米不同生育时期各部位硝态氮含量变化

Table 2 Changes of nitrate-N contents in different corn positions at different growth stages

ng/kg

处理 Treat ment	苗期 Seeding stage				拔节期 Jointing stage				灌浆期 Filling stage			
	3 位叶 Third leaf		6 位叶 Sixth leaf		3 位叶 Third leaf		6 位叶 Sixth leaf		3 位叶 Third leaf		6 位叶 Sixth leaf	
	叶肉 Mesophyll	叶鞘 Leaf sheath	叶肉 Mesophyll	叶鞘 Leaf sheath	叶肉 Mesophyll	叶鞘 Leaf sheath	叶肉 Mesophyll	叶鞘 Leaf sheath	叶肉 Mesophyll	叶鞘 Leaf sheath	叶肉 Mesophyll	叶鞘 Leaf sheath
N <sub>0</sub>	85.1	820	79.2	325	117	216	121	314	44.1	108	65.4	97.5
N <sub>150</sub>	105.0	891	92.4	584	151	235	213	368	56.5	146	169.0	222.0
N <sub>300</sub>	245.0	1 000	115.0	989	151	537	265	785	106.0	169	97.5	464.0
N <sub>450</sub>	313.0	1 070	128.0	1 030	169	646	276	708	74.4	110	90.4	468.0

可知, 施氮对玉米苗期各部位硝态氮含量有显著影响, 不施氮处理(N<sub>0</sub>) 玉米植株的氮浓度含量低于各施氮处理中的氮含量, 且施氮量与各部位硝态氮含量的相关性均达极显著水平; 无论 3 位叶还是 6 位叶, 叶鞘的硝态氮含量均明显高于叶肉, 这与沈明珠等<sup>[7]</sup> 的研究结果一致, 顺序依次是: 3 叶鞘 > 6 叶鞘 > 3 叶肉 > 6 叶肉, 可见, 3 位叶硝态氮含量高于 6 位叶, 表明植株体内的氮素由老叶向新叶转移, 这可能是因为玉米在苗期快速生长, 对氮素需求加大; 在氮肥施用量小于 300 kg/hm<sup>2</sup> 时, 各部位的硝态氮含量随施氮量增加有明显增加, 而在氮肥施用量大于 300 kg/hm<sup>2</sup> 时, 增幅却减缓。



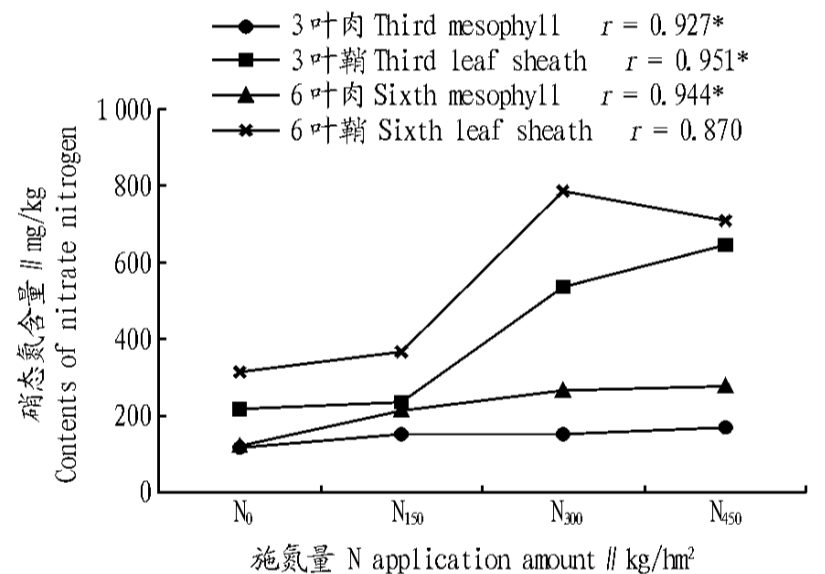
注: \*\* 表示极显著相关。

Note: \*\* means extremely significant correlation.

图 1 不同施氮量玉米苗期各部位硝态氮含量

Fig. 1 Contents of nitrate nitrogen different leaf positions at maize seeding stage under different N application amount

**2.1.2 拔节期施氮对玉米各部位硝态氮吸收的影响。** 由图 2 可知, 不施氮处理(N<sub>0</sub>) 玉米植株的氮浓度含量低于各施氮处理中的氮含量, 除了 6 位叶鞘施氮量与硝态氮含量的相关性不显著外, 其他部位均达显著水平; 叶鞘的硝态氮含量均



注: \* 表示显著相关。

Note: \* means significant correlation.

图 2 不同施氮量玉米拔节期各部位硝态氮含量

Fig. 2 Contents of nitrate nitrogen different leaf positions at maize jointing stage under different N application amount

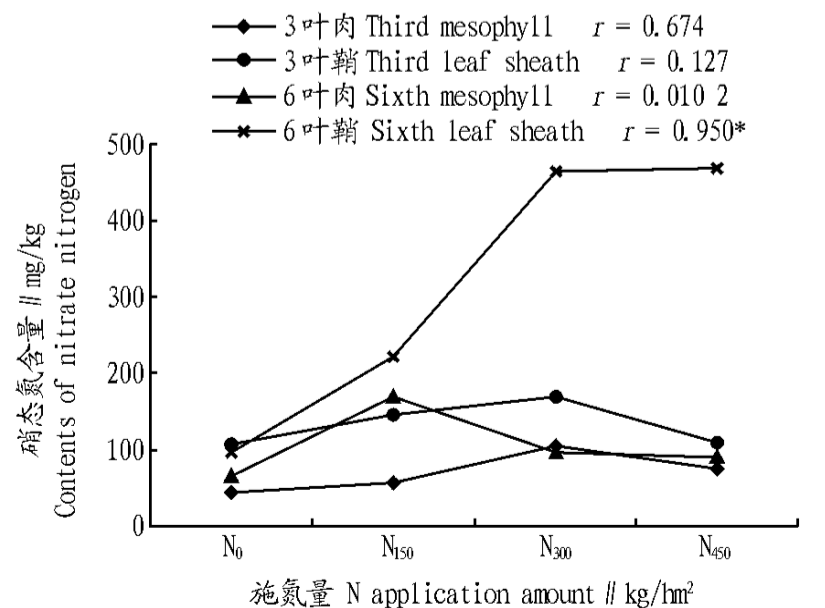
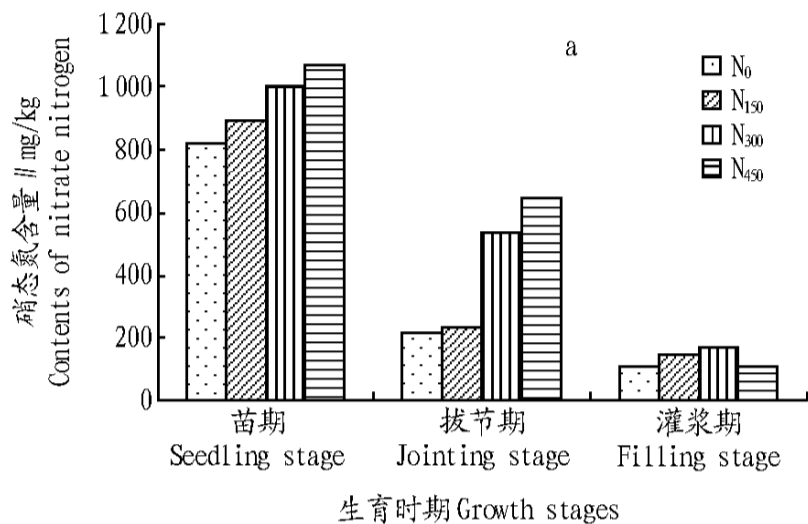


图 3 不同施氮量玉米灌浆期各部位硝态氮含量

Fig. 3 Contents of nitrate nitrogen different leaf positions at maize filling stage under different N application amount

高于叶肉,顺序依次是:6 叶鞘>3 叶鞘>6 叶肉>3 叶肉,可见,6 位叶硝态氮含量高于3 位叶,与苗期趋势相反,这可能是因为在追施的氮肥使得土壤中速效氮得到及时补充,导致氮素没有由老叶向新叶转移;在氮肥施用量小于 $300\text{ kg/hm}^2$ 时,各部位的硝态氮含量随施氮量增加呈不同程度的增加,而在氮肥施用量大于 $300\text{ kg/hm}^2$ 时,增幅减缓,甚至出现下降的趋势。

**2.1.3 灌浆期施氮对玉米各部位硝态氮吸收的影响。**施氮对玉米灌浆期各部位硝态氮含量的影响不一(图3),不施氮处理( $N_0$ )玉米植株的氮浓度含量低于各施氮处理中的氮含



量,与前两个时期一致,但在灌浆期,只有第6 位叶鞘的施氮量与硝态氮含量的相关性达显著水平,其他部位均不显著;灌浆期第3 位、第6 位叶鞘和叶肉的硝态氮变化趋势与拔节期相似;在氮肥施用量小于 $300\text{ kg/hm}^2$ 时,除了第6 位叶肉,各部位的硝态氮含量随施氮量增加呈不同程度的增加,而在氮肥施用量大于 $300\text{ kg/hm}^2$ 时,增幅减缓,甚至出现下降的趋势。

**2.2 不同部位各生育时期硝态氮含量的变化**

**2.2.1 第3 位叶鞘与叶肉各生育时期硝态氮含量的变化。**由图4 可知,第3 位叶无论叶鞘还是叶肉各时期硝态氮含量

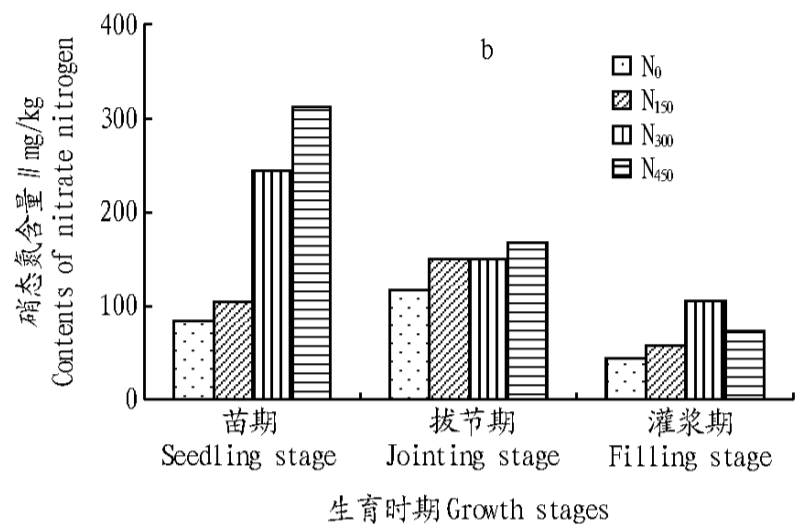


图4 不同施氮量各时期玉米第3 位叶鞘(a) 和叶肉(b) 硝态氮含量

Fig.4 Content of nitrate nitrogen in third leaf sheath (a) and mesophyll (b) at different stages with different N application amount

的变化趋势与氮肥施用量大致一致,但是,在灌浆期高氮水平处理硝态氮含量略有降低;第3 位叶鞘和叶肉中的硝态氮含量在苗期最高,随着植株生长加快,秸秆含氮量因稀释效应而逐渐降低,使得拔节期硝态氮含量降低,而在灌浆期,由于氮素向籽粒的大量转移,导致秸秆中氮含量进一步下降。

**2.2.2 第6 位叶鞘与叶肉各生育时期硝态氮含量的变化。**第6 位叶鞘与叶肉各时期硝态氮含量与氮肥施用量的变化趋势不一致(图5)。叶鞘各时期的硝态氮含量随施氮量的增

加呈不同程度的递增(图5c),但是,在拔节期高氮水平处理硝态氮含量略有降低,第6 位各时期叶鞘中的硝态氮含量的变化趋势与第3 位各部分变化相似,顺序是:苗期>拔节期>灌浆期;而叶肉在苗期和拔节期硝态氮含量随施氮量的增加递增(图5d),在灌浆期则是先增加再下降,第6 位各时期叶肉中的硝态氮含量的变化趋势与叶鞘不同,顺序是:拔节期>苗期>灌浆期。

**2.3 施氮对玉米产量的影响** 由表3 可知,该肥力水平下

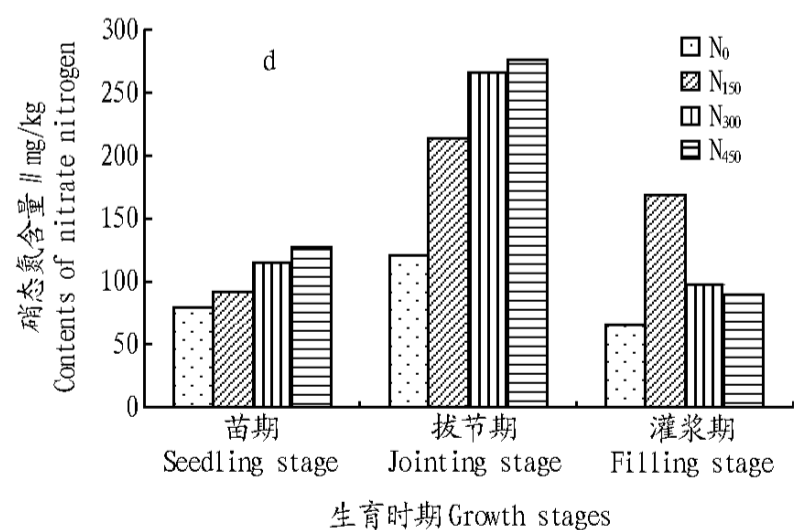
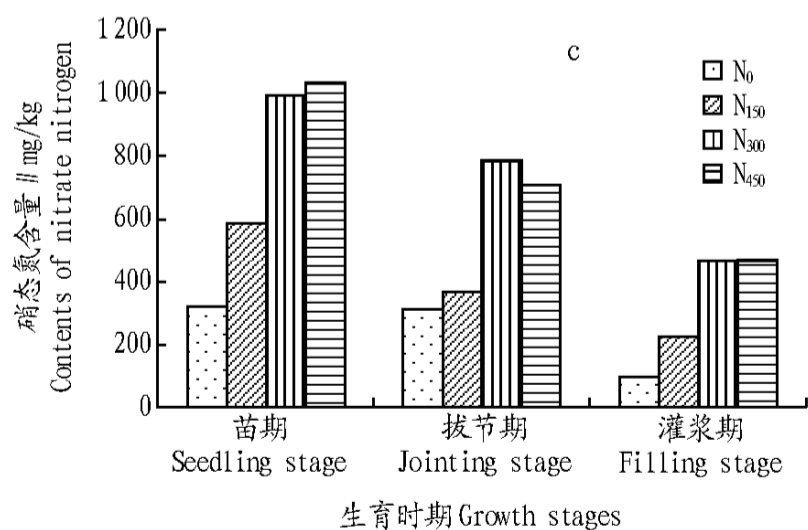


图5 不同施氮量各时期玉米第6 位叶鞘(c) 和叶肉(d) 硝态氮含量

Fig.5 Content of nitrate nitrogen in sixth leaf sheath (c) and mesophyll (d) at different stages with different N application amount

施用氮肥对玉米籽粒有明显的增产作用,但氮肥施用量大于 $300\text{ kg/hm}^2$ 时,增施的氮肥不再有增产作用。 $N_{150}$ 、 $N_{300}$ 、 $N_{450}$ 处理的增产量分别为 $1\ 178$ 、 $2\ 240$ 、 $214\text{ kg/hm}^2$ , $1\text{ kg}$ 肥料氮的增产量分别为 $7.8$ 、 $7.5$ 、 $0.5\%$ ,籽粒产量分别提高了 $19.3\%$ 、 $36.7\%$ 和 $3.51\%$ 。统计分析结果显示,施氮量 $N_{150}$ 处理籽粒产量与 $N_0$ 之间的差异达 $5\%$ 的显著水平, $N_{300}$ 处理籽粒产量与 $N_0$ 之间的差异达 $1\%$ 的显著水平,但 $N_{450}$ 处理籽粒产量与 $N_0$ 之间的差异却未达显著水平;玉米秸秆产量随着施氮量的

增加而增加,各施氮处理秸秆产量与 $N_0$ 之间的差异均达 $5\%$ 水平。综合考虑产量、植株硝态氮含量、经济费用等因素,玉米氮肥季用量应控制在 $300\text{ kg/hm}^2$ 以内。

**3 结论与讨论**

前人研究表明,硝态氮是大多数植物从土壤中吸收氮素的主要形态,植株中硝态氮累积是旱作植物的共性<sup>[8-10]</sup>。该研究发现,

表4 区域农业开发与水库TN、TP 之间的相关关系

Table 4 Relationship between regional agriculture development and TN and TP in reservoir

相关因子( <i>Y</i> ) Correlation factor	相关方程 Correlation equation	相关系数 $R^2$ Correlation coefficient
年茶园面积 Annual area of tea garden	$Y_1 = 7 \times 10^{-9} X^2 + 5 \times 10^{-5} X + 0.2333$	0.4875
茶叶年产量 Annual yield of tea	$Y_2 = 7 \times 10^{-7} X + 0.0155$	0.0746
化肥年用量 Annual fertilizer dosage	$Y_1 = -0.2002 X^2 + 1.00205 X - 0.5945$	0.5799
农药年用量 Annual pesticide dosage	$Y_2 = -0.0141 X^2 + 1.0605 X - 0.039$	0.8700
农林牧渔产值 Output of agriculture forestry animal husbandry and fishery	$Y_1 = 0.5809 X - 0.429$	0.5151
	$Y_2 = 0.0145 X - 0.0041$	0.4475
	$Y_1 = 0.0006 X^2 - 0.0534 X + 1.6024$	0.3662
	$Y_2 = -5 \times 10^{-5} X^2 + 0.0055 X - 0.139$	0.7554
	$Y_1 = 0.000008 X + 0.3519$	0.4820
	$Y_2 = 3 \times 10^{-7} X + 0.0086$	0.5743

注:表中  $Y_1$ 、 $Y_2$  分别表示TN、TP。

Note:  $Y_1$  and  $Y_2$  stand for TN and TP, respectively.

表4 显示出农林牧渔产值与水库TN、TP 之间存在线性正相关关系,说明水库TN、TP 水平受区域农林牧渔业发展影响大。到目前为止,化肥、农药的使用仍然是研究区域保证农业生产发展的重要基础,研究区域内现已发展了规模化畜禽养殖场300 多家,在提高区域内牧业产值的同时,由于没有采取相应的环保措施,畜禽养殖废物污染水库,是水库TN、TP 的来源之一。此外,水库还受到区域内乡镇居民点排

(上接第6406 页)

( $N_0$ ) 的硝态氮含量低于各施氮处理中的氮含量,这三时期各部位的硝态氮含量与施氮量的相关性差异较大,且随生育期的延长各部位中  $NO_3^-$ -N 含量总体上表现下降趋势。引起植株地上部分氮素损失的原因有多种,有人认为是通过吐水、根部分泌、雨水或露水淋洗及衰老器官的自然脱落等途径损失掉<sup>[11-14]</sup>,也有研究认为是在植物生长后期,以气态氮的形式向空气中逸失氮素<sup>[15-16]</sup>;三时期植株体内硝态氮含量均是叶鞘明显高于叶肉,且都在施氮量大于  $300 \text{ kg/hm}^2$  时氮含量增长减缓。

表3 施氮对产量的影响

Table 3 Effects of N application on the yield

处理 Treatment	籽粒产量 $\text{kg/hm}^2$ Grain yield	秸秆产量 $\text{kg/hm}^2$ Straw yield
$N_0$	6 103 cC $\pm 968$	5 931 bB $\pm 700$
$N_{150}$	7 281 bAB $\pm 484$	7 340 aAB $\pm 124$
$N_{300}$	8 343 aA $\pm 122$	7 568 aAB $\pm 132$
$N_{450}$	6 317 bcBC $\pm 142$	8 320 aA $\pm 953$

注:同一列数据不同大、小写字母分别表示0.01 和0.05 水平差异显著。

Note: Different capital and lowercase letters in a row mean significant differences at 0.01 and 0.05 levels.

该试验研究结果表明,施用氮肥对玉米籽粒产量有显著的增产作用,但当施氮量大于  $300 \text{ kg/hm}^2$  时,增施的氮肥不再有增产作用,产量反而有所降低。而施用氮肥对玉米秸秆产量则均有显著的增产作用。在基肥有保证的情况下,施肥应尽量满足玉米拔节至灌浆期对养分的需求,该试验地玉米的氮素总用量以控制在  $300 \text{ kg/hm}^2$  左右为宜。

参考文献

污的影响。

#### 4 结论

(1) 所研究的大型水库功能受到水库所在区域农林牧渔业发展以及化肥、农药使用的深刻影响,目前主要的影响效应体现在大型水库水质上,其表现为水库水体TN、TP 指标日趋恶化,直接威胁到该水库城市供水的安全性,长此以往,将影响该水库的其他功能。该研究表明,区域社会发展的战略研究、制定与实施必须将大型水库的开发利用考虑在内,把大型水库开发利用与区域开发统筹起来、统一规划,是取得区域经济、社会发展与大型水库开发利用经济效益和社会效益和谐、实现区域生态文明的必由之路。

(2) 所研究的大型水库功能受到区域农业产业结构发展的深刻影响,区域农业产业结构调整是区域农业发展理念、战略与政策的重要体现,因而提高区域农业开发的决策水平,制定科学的农业开发战略与产业结构规划具有重要意义。

#### 参考文献

- [1] 南湾水库志编委会.南湾水库志 M.北京:中国档案出版社,2005.
- [2] 鲍宝珠,孟玉珍,夏方,等.河南省生活饮用水源藻类毒素污染的初探[J].河南预防医学杂志,1999,10(3):168-169.
- [3] 李效宇,朱凤荣,张素华,等.南湾水库和白龟山水库的浮游生物及微囊藻的培养[J].河南水产,2003(1):29.
- [4] 李睿,李自荣,王长春,等.南湾水库着生藻类资源调查[J].信阳农业高等专科学校学报,2003,13(2):39.
- [1] RHYKERD C L, NOLLER C H. The role of nitrogen in forage production [C]// The Science of Grassland Agriculture, 3rd edition. Ames, Iowa, USA: Iowa State University Press, 1973: 416-424.
- [2] GLINHAM J R, SHRER M M, STARNES J J, et al. Relative of occurrence of toxic concentrations of cyanide and nitrate in varieties of sudangrass and sorghum sudangrass hybrids [J]. Agron J, 1969, 61: 727-730.
- [3] MURPHY L S, SMITH G E. Nitrate accumulation in forage crops [J]. Agron J, 1967, 59: 171-174.
- [4] 任继周. 草业科学研究方法 M. 北京: 中国农业出版社, 1998: 127-128.
- [5] RYAN M, WEDIN W F, BRYAN W B. Nitrate N levels of perennial grasses as affected by time and level of nitrogen application [J]. Agron J, 1972, 64: 165-168.
- [6] 王永军, 王空军, 董树亭, 等. 施氮对墨西哥玉米植株硝态氮累积及产量的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(3): 345-350.
- [7] 沈明珠, 翟宝杰, 东惠茹, 等. 蔬菜硝酸盐累积的研究. 不同蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐含量评价[J]. 园艺学报, 1982, 9(4): 41-48.
- [8] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素 M. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992: 278-281.
- [9] SANTAMARIA P, ELIA A, SERIO F. Fertilization strategies for lowering nitrate contents in leafy vegetable: dickey and rocket salad cases [J]. J Hart Ntr, 1998, 21(9): 1791-1803.
- [10] 巨晓棠, 张福锁. 中国北方土壤硝态氮的累积及其对环境的影响[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 24-28.
- [11] 潘家荣, 邹国元, 魏丽, 等. 群体密度和追氮方法对不同熟相冬小麦产量效应的差异及对化肥氮去向的影响[J]. 核农学报, 2003, 17(6): 466-471.
- [12] DAIGGER L A, SANDER D H, PEIERSON G A. Nitrogen content of winter wheat during growth and maturation [J]. Agron J, 1976, 68: 815-818.
- [13] EGERAAT A W, VANS M. Exudation of nonhydrolyzable compounds by pea seeding roots: A study of the sites of exudation and of the composition of the exudate [J]. J Hart Sil, 1975, 42: 37-47.
- [14] HUTCHINSON G L, MOYER A R. Nitrous oxide emissions from an irrigated cornfield [J]. Science, 1979, 205: 1125-1127.
- [15] FARQUHAR G D, WEIJAELAR R, HATHI P M. Ammonia volatilization from senescing leaves of maize [J]. Science, 1979, 203: 1257-1258.
- [16] 李生秀, 李宗让, 田雷鸿, 等. 植物地上部分氮素的挥发损失[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(2): 18-25.