

# 春玉米籽粒可溶性糖积累规律及其与淀粉含量的关系

陈 洋, 赵宏伟

(东北农业大学农学院, 哈尔滨 150030)

**摘要:** 试验以高淀粉玉米(四单 19)、普通玉米(东农 250)、优质蛋白玉米(丰禾 10 号)为材料, 研究氮素用量对春玉米籽粒可溶性糖和淀粉积累的影响。结果表明: 籽粒中蔗糖含量在吐丝后先增加后降低, 果糖和可溶性总糖含量一直呈下降趋势, 淀粉含量在籽粒灌浆过程中不断上升。

**关键词:** 春玉米; 氮素用量; 可溶性糖; 淀粉;

中图分类号: S 513 文献标识码: A 文章编号: 1002-2767(2007)02-009-04

## Accumulation Regularity of Soluble Sugar in Gains of Spring Maize and Its Relation with Starch Content

CHEN Yang ZHAO Hong wei

(Agronomy College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030)

**Abstract:** This experiment utilized high starch maize Sidan19, common maize Dongnong250 and good quality protein maize Fenghe 10 as materials, the effects of nitrogen application on soluble sugar and starch accumulation in gains of spring maize were studied. The results showed that sucrose content in grains increased firstly and then fell gradually after spinning. The contents of fructose and total soluble sugars fell gradually. The content of starch went up gradually during grain filling stage.

**Key words:** spring maize; nitrogen application; soluble sugar; starch

### 0 前言

玉米是全世界最重要的粮食、饲料和经济兼用作物。目前, 人均占有玉米的数量被视为衡量一个国家畜牧业发展和人民生活水平的重要标志之一。氮是玉米生长发育和产量形成中需求量最大的营养元素, 对玉米生长十分重要。

谢瑞芝等以玉米杂交种鲁玉 16 和农大 108 为试材, 研究得出施用氮肥可以提高籽粒中可溶性糖和淀粉的含量<sup>[1]</sup>。盛婧等指出皖麦 38 在氮肥后移的情况下, 会使籽粒中蔗糖、可溶性糖和淀粉含量下降<sup>[2]</sup>。李运祥等研究发现施氮对稻米中淀粉的种类和含量有显著影响, 增施氮肥可以降低灌浆初期颖果中可溶性糖的含量, 减少颖果淀粉含量的积累<sup>[3]</sup>。陈英取认为氮肥对甜玉米鲜籽粒水溶性糖的含量表现出极显著的负相关关系<sup>[4]</sup>。杨杰认为马铃薯施氮

可提高其块茎中的氮化物, 但是降低了其干物质、糖类碳水化合物含量<sup>[5]</sup>。

本试验通过研究氮素用量对春玉米吐丝后籽粒中可溶性糖和淀粉含量的影响, 确定有利于春玉米籽粒碳水化合物积累的氮素用量, 为合理施用氮肥提供了理论依据, 并揭示出籽粒可溶性糖对淀粉形成的影响。

### 1 材料与与方法

#### 1.1 试验材料

高淀粉玉米(四单 19)、普通玉米(东农 250)、优质蛋白玉米(丰禾 10 号)。

#### 1.2 试验设计

试验于 2004 年在东北农业大学实验实习基地进行, 固定磷钾用量, 试验设 4 个氮肥用量处理, N0 (不施氮肥)、N100(施纯氮 100 kg/hm<sup>2</sup>)、N200(施

收稿日期: 2006-10-25

基金项目: 黑龙江省教育厅科学技术研究项目(10531023)

第一作者简介: 陈洋(1980-), 女, 黑龙江人, 硕士研究生, 从事作物生理与高产栽培技术研究。E-mail: chenyan69@yahoo.com.cn.

通讯作者: 赵宏伟, 女, E-mail: hongweizhao@163.com.

纯氮 200 kg/hm<sup>2</sup>、N300(施纯氮 300 kg/hm<sup>2</sup>), 施用 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 100 kg/hm<sup>2</sup>。试验采用随机区组设计, 3次重复。小区行长 6 m, 7行区, 行距 70 cm。4月下旬播种, 氮肥的 1/2 作种肥, 1/2 作追肥, 于拔节前施入土壤, 其它管理同田间常规管理。试验的土壤基础肥力: 有机质含量 2.56%、全氮 0.134 mg/kg、全磷 0.064 mg/kg、缓效钾 987 mg/kg、碱解氮 146.2 mg/kg、速效磷 44.78 mg/kg、速效钾 143.2 mg/kg, 土壤 pH 6.62。

### 1.3 取样方法

分别于吐丝后 7 d、14 d、21 d、28 d、35 d、42 d、49 d 和成熟期每处理选取有代表性的 3 个玉米果穗, 取中部籽粒进行测定。取样后, 先在 105℃ 的烘箱内杀青, 然后在 80℃ 恒温条件下烘至恒重。

### 1.4 测定项目与方法

1.4.1 蔗糖和果糖含量测定 采用间苯二酚比色法。

1.4.2 可溶性总糖含量测定 采用蒽酮比色法。

### 1.5 数据处理和分析

采用 EXCEL 软件进行数据处理和分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 氮素用量对春玉米籽粒蔗糖含量的影响

运输到籽粒中的光合产物最初以蔗糖的形式存在, 蔗糖降解生成 UDPG 和果糖后才能用来合成淀粉。因此, 籽粒发育过程中, 蔗糖的含量反映了淀粉合成底物的供应水平, 籽粒中蔗糖含量高时有利于淀粉合成。从表 1 可以看出, 自吐丝后 7~49 d, 籽粒中蔗糖含量呈先增加后降低的趋势变化。峰值出现在吐丝后 14 d, 只有丰禾 10 N300 的峰值出现在吐丝后 21 d。四单 19 从吐丝后 7~21 d N200 的蔗糖含量最高, 其他时期以 N300 最高, 各时期均是 N0

表 1 籽粒蔗糖含量 %

| 品种     | 处理   | 吐丝后天数(d) |       |       |       |      |      |      |
|--------|------|----------|-------|-------|-------|------|------|------|
|        |      | 7        | 14    | 21    | 28    | 35   | 42   | 49   |
| 四单 19  | N0   | 8.81     | 10.81 | 8.99  | 7.68  | 6.20 | 5.16 | 4.03 |
|        | N100 | 11.16    | 12.12 | 11.25 | 9.51  | 7.94 | 5.33 | 4.72 |
|        | N200 | 11.94    | 13.59 | 11.94 | 9.33  | 7.51 | 5.85 | 4.90 |
|        | N300 | 10.81    | 12.81 | 10.99 | 10.99 | 8.20 | 6.98 | 5.42 |
| 东农 250 | N0   | 7.85     | 9.94  | 8.64  | 6.55  | 5.25 | 4.81 | 4.55 |
|        | N100 | 10.81    | 12.29 | 11.51 | 8.46  | 6.90 | 5.16 | 4.64 |
|        | N200 | 10.99    | 12.90 | 11.77 | 9.59  | 7.25 | 5.68 | 4.90 |
| 丰禾 10  | N0   | 10.29    | 12.12 | 10.81 | 8.63  | 8.03 | 6.81 | 5.25 |
|        | N0   | 7.68     | 8.99  | 8.20  | 6.38  | 5.77 | 4.90 | 4.20 |
|        | N100 | 10.29    | 11.94 | 10.72 | 9.07  | 6.90 | 5.42 | 4.55 |
|        | N200 | 10.90    | 12.55 | 11.33 | 9.68  | 7.59 | 5.77 | 4.46 |
|        | N300 | 9.59     | 10.55 | 12.73 | 11.07 | 7.94 | 6.38 | 5.42 |

最低; 东农 250 从吐丝后 7~28 d N200 的蔗糖含量最高, 其他时期以 N300 最高, 各时期均是 N0 最低;

丰禾 10 从吐丝后 7~14 d N200 的蔗糖含量最高, 其他时期以 N300 最高, 各时期均是 N0 最低。从品种来看, 籽粒中蔗糖含量在不施氮、施纯氮 100 kg/hm<sup>2</sup> 吐丝后 7、28 和 35 d 情况下、施纯氮 200 kg/hm<sup>2</sup> 吐丝后 7、14、21 和 42 d 情况下和施纯氮 300 kg/hm<sup>2</sup> 吐丝后 7、14、35 和 42 d 情况下以四单 19 为最高。

### 2.2 氮素用量对春玉米籽粒果糖含量的影响

由表 2 可以看出, 春玉米籽粒果糖含量在吐丝后一直不断下降。东农 250(吐丝后 7、21 d 除外) 和丰禾 10(吐丝后 7、14 d 除外) 表现为 N300>N200>N100>N0, 吐丝后 7~14 d 表现为 N300>N200>N100>N0, 吐丝后 28~49 d 表现为 N200>N300>N100>N0。从品种来看, 籽粒中果糖含量在不施氮时吐丝后 7 和 14 d 以丰禾 10 最高, 其他时期表现为四单 19>东农 250>丰禾 10。在施纯氮 100 kg/hm<sup>2</sup> 情况下, 吐丝后 21、28、35 d 表现为四单 19>东农 250>丰禾 10, 其他时期呈四单 19>丰禾 10>东农 250 的规律。在施纯氮 200 kg/hm<sup>2</sup> 情况下吐丝后 7、14、21 d 表现为四单 19>丰禾 10>东农 250, 其他时期呈四单 19>东农 250>丰禾 10 的规律。在施纯氮 300 kg/hm<sup>2</sup> 时吐丝后 7、14、42、49 d 以四单 19 为最高, 东农 250 次之。

表 2 籽粒果糖含量 %

| 品种      | 处理   | 吐丝后天数(d) |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|----------|------|------|------|------|------|------|
|         |      | 7        | 14   | 21   | 28   | 35   | 42   | 49   |
| 四单 19   | N0   | 1.46     | 1.25 | 1.19 | 0.81 | 0.76 | 0.61 | 0.46 |
|         | N100 | 3.61     | 3.01 | 2.60 | 2.25 | 1.78 | 1.40 | 0.93 |
|         | N200 | 3.73     | 3.15 | 2.70 | 2.49 | 1.89 | 1.49 | 1.06 |
|         | N300 | 3.91     | 3.21 | 2.47 | 2.34 | 1.81 | 1.48 | 0.97 |
| 东农 250  | N0   | 1.49     | 1.21 | 1.14 | 0.78 | 0.72 | 0.60 | 0.45 |
|         | N100 | 3.33     | 2.80 | 2.56 | 1.95 | 1.65 | 1.21 | 0.85 |
|         | N200 | 3.50     | 2.97 | 2.47 | 2.22 | 1.72 | 1.37 | 0.92 |
| 丰禾 10 号 | N0   | 3.19     | 3.01 | 2.63 | 2.38 | 1.83 | 1.42 | 0.94 |
|         | N0   | 1.50     | 1.29 | 1.09 | 0.77 | 0.68 | 0.53 | 0.41 |
|         | N100 | 3.43     | 2.97 | 2.43 | 1.93 | 1.58 | 1.23 | 0.87 |
|         | N200 | 3.51     | 3.12 | 2.52 | 2.19 | 1.69 | 1.34 | 0.90 |
|         | N300 | 3.09     | 2.88 | 2.64 | 2.34 | 1.81 | 1.37 | 0.92 |

### 2.3 氮素用量对春玉米籽粒可溶性糖含量的影响

由表 3 可知, 各品种籽粒可溶性总糖含量一直呈下降趋势。东农 250 和丰禾 10 号在吐丝后 7、14 d 处理间表现为 N200>N100>N300>N0, 东农 250 在吐丝后 21 d 表现为 N200>N300>N100>N0, 其他时期籽粒中可溶性总糖含量随着氮素用量的增加而增加。四单 19 在吐丝后 7~21 d 表现为 N200>N100>N300>N0, 吐丝后 28、42、49 d 表现为 N300>N200>N100>N0, 吐丝后 35 d 表现

N200> N300> N100> N0。从品种来看, 籽粒中可溶性总糖含量在 N0 (吐丝后 49 d 除外)、N100 (吐

表 3 籽粒可溶性总糖含量 %

| 品种      | 处理   | 吐丝后天数 (d) |       |       |       |       |      |      |
|---------|------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|------|
|         |      | 7         | 14    | 21    | 28    | 35    | 42   | 49   |
| 四单 19   | N0   | 13.23     | 12.99 | 12.40 | 10.93 | 8.96  | 7.34 | 5.94 |
|         | N100 | 18.05     | 17.74 | 16.23 | 13.98 | 9.45  | 7.93 | 6.74 |
|         | N200 | 19.34     | 18.45 | 16.65 | 15.20 | 11.70 | 8.32 | 7.16 |
|         | N300 | 17.76     | 17.52 | 16.05 | 16.82 | 10.51 | 9.31 | 8.03 |
| 东农 250  | N0   | 12.50     | 12.12 | 12.19 | 9.05  | 8.95  | 6.77 | 6.03 |
|         | N100 | 17.17     | 16.59 | 15.87 | 12.42 | 10.35 | 7.18 | 6.37 |
|         | N200 | 17.49     | 17.07 | 16.50 | 14.32 | 11.08 | 7.78 | 6.47 |
|         | N300 | 15.85     | 15.62 | 16.32 | 15.62 | 11.25 | 8.97 | 7.70 |
| 丰禾 10 号 | N0   | 12.38     | 12.02 | 11.87 | 8.74  | 8.45  | 6.41 | 5.85 |
|         | N100 | 16.82     | 15.88 | 15.64 | 12.17 | 9.86  | 6.90 | 6.07 |
|         | N200 | 17.41     | 16.74 | 16.21 | 13.86 | 10.36 | 7.19 | 6.15 |
|         | N300 | 15.48     | 15.22 | 16.48 | 15.62 | 11.48 | 8.69 | 7.54 |

丝后 35 d 除外) 和 N200 水平上表现为四单 19> 东农 250> 丰禾 10 号; N300 水平上吐丝后 21、35 d 以丰禾 10 号最高, 四单 19 最低, 其他时期表现为四单 19> 东农 250> 丰禾 10 号。

2.4 氮素用量对春玉米籽粒淀粉含量的影响

由图可知, 3 个品种淀粉含量在吐丝后一直不断上升, 在成熟期达到最高。四单 19 在吐丝后 7、14、21 d 表现为 N200> N100> N300> N0, 其它时期表现为 N200> N300> N100> N0。东农 250(成熟期除外) 和丰禾 10 号在吐丝后各时期均表现为 N200> N100> N300> N0。从品种角度看, 四单 19 不同氮素处理籽粒淀粉含量在各时期均高于其他品种, 除吐丝后 49 d 外各时期东农 250 淀粉含量均高于丰禾 10 号。

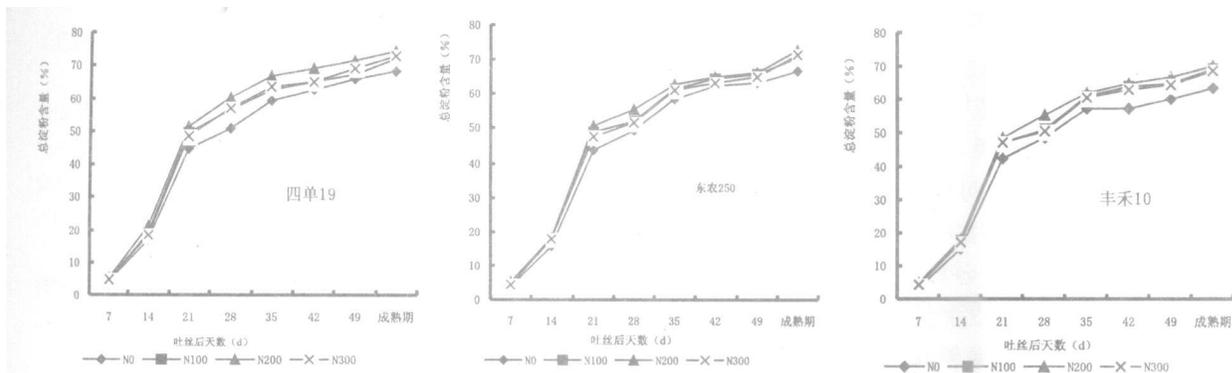


图 春玉米籽粒淀粉含量的变化

2.5 春玉米籽粒蔗糖、果糖、可溶性总糖与籽粒淀粉含量的关系

由表 4 可知, 春玉米吐丝后籽粒蔗糖、果糖、可溶性总糖与籽粒淀粉含量均呈正相关。籽粒蔗糖含量与淀粉在吐丝后 7、14、21 d 呈极显著正相关, 并且相关系数依次减小; 在吐丝后 28、35 d 呈显著正相关, 且 35 d 的相关系数较大。说明在吐丝后 7、14、21、28、35 d 随着籽粒中蔗糖含量的增加能显著地增加淀粉含量。籽粒果糖含量与淀粉在吐丝后 7、14、21、35、42、49 d 呈极显著正相关, 吐丝后 21 d 相关系数最高, 吐丝后 7 d 和 35 d 相差较小并高于 14、42、49 d; 在吐丝后 28 d 呈显著正相关。说明提高籽粒果糖含量可以显著提高淀粉含量。籽粒可溶性总糖含量与淀粉在吐丝后 7、14、21、35 d 呈极显著正相关, 在吐丝后 28 d 呈显著正相关, 吐丝后 21 d 相关系数达到最大, 7、14 d 相关系数与 21 d 相差很小在 0.9 左右。说明在籽粒灌浆前期和中期提高籽粒中可溶性总糖的含量能明显增加淀粉的含量。

表 4 籽粒蔗糖、果糖、可溶性总糖与籽粒淀粉含量的关系

| 项目    | 吐丝后天数 (d) |          |          |         |          |          |
|-------|-----------|----------|----------|---------|----------|----------|
|       | 7         | 14       | 21       | 28      | 35       | 42       |
| 蔗糖    | 0.930 **  | 0.891 ** | 0.851 ** | 0.576 * | 0.694 *  | 0.351    |
| 果糖    | 0.782 **  | 0.747 ** | 0.880 ** | 0.682 * | 0.793 ** | 0.745 ** |
| 可溶性总糖 | 0.901 **  | 0.899 ** | 0.905 ** | 0.664 * | 0.714 ** | 0.475    |

注: \*\*表示 1% 显著水平; \*表示 5% 显著水平。

3 结论

- 3.1 籽粒中蔗糖含量在吐丝后先增加后降低, 在吐丝后 14 d 最高(丰禾 10N300 除外), 籽粒灌浆前期施纯氮 200 kg/hm<sup>2</sup>较有利于蔗糖积累, 籽粒灌浆后期施纯氮 300 kg/hm<sup>2</sup>较有利于蔗糖积累, 不施氮会在各时期均会降低蔗糖含量。
- 3.2 吐丝后籽粒果糖和可溶性总糖含量一直呈下降趋势, 氮素用量的影响因品种和时期而异, 但氮素用量不足必会导致含量的降低。
- 3.3 淀粉含量在籽粒灌浆过程中不断上升, 以施纯氮 200 kg/hm<sup>2</sup>最高, 品种间以四单 19 表现最好。在吐丝后 7~35 d 籽粒蔗糖、果糖和可溶性总糖均

与淀粉呈极显著或显著正相关,所以说在此期间籽粒蔗糖、果糖和可溶性总糖积累对淀粉的形成起很大作用。

#### 4 讨论

叶片光合作用形成的光合作用产物在植株体内主要以蔗糖的形式进行运输,由叶片运转到籽粒中的蔗糖是合成籽粒中各种物质的基础。刘鹏等研究得出,甜质型玉米籽粒中蔗糖含量表现为快、慢、快的增加趋势,普通型玉米籽粒中蔗糖含量在灌浆的中前期维持较低水平,随籽粒发育呈线性下降<sup>[9]</sup>。但本试验得出,春玉米籽粒中蔗糖含量在灌浆过程中呈先增加后降低的变化趋势,这与孙政才等关于普通玉米和甜玉米研究结果相同<sup>[7]</sup>。

乐素菊等认为果蔬型糯玉米与普通玉米籽粒中可溶性糖含量在授粉后不断下降;蔗糖含量在籽粒灌浆前期有明显的积累,达到峰值后逐步下降,籽粒可溶性糖主要由蔗糖构成<sup>[8]</sup>。本试验对三种类型春玉米的研究得到相同结果,只是含量多少不同。

刘鹏试验得出,氮素可以提高糯质型、甜质型和普通型玉米籽粒可溶性总糖含量,而对爆裂型玉米则有降低作用。同时,对各糖组分含量的影响也不同<sup>[9]</sup>。本试验的结果与以上结论相符,得出施氮肥可以提高春玉米籽粒中果糖和可溶性总糖含量,最佳施氮量因品种和时期不同而有差异,不施氮会使果糖和可溶性总糖含量的降低,氮素对两种糖的影响不同。

刘晓冰、李文雄发现籽粒灌浆过程中淀粉积累

的增加与可溶性糖含量的下降趋势相吻合,认为淀粉和可溶性糖含量之间存在着一定关系,但不可能是直接的简单关系,中间过程可能比较复杂<sup>[10]</sup>。本试验结果表明:春玉米籽粒果糖在籽粒灌浆过程中、蔗糖和可溶性总糖自吐丝后7~35 d均与淀粉含量呈极显著或显著正相关,说明可溶性糖作为淀粉合成的底物,其含量多少与淀粉含量密切相关。

#### 参考文献:

- [1] 谢瑞芝,董树亭,胡昌浩等.氮硫互作对玉米籽粒营养品质的影响[J].中国农业科学,2003,36(3):263-268.
- [2] 盛婧,胡宏,郭文善等.施氮模式对皖麦38淀粉形成与产量的效应[J].作物学报,2004,30(5):507-511.
- [3] 李运祥,王忠,顾蕴洁等.施氮处理对稻米淀粉积累的影响[J].南京师大学报(自然科学版),2003,26(3):68-71.
- [4] 陈英取,张承林,张其伦等.氮磷钾用量及配比对甜玉米产量与品质的影响[J].华南农业大学学报,1993,14(1):33-38.
- [5] 杨杰.氮钾互作对马铃薯产量、品质与氮磷钾吸收的影响[J].华南农业大学学报,1993,14(1):28-32.
- [6] 刘鹏,胡昌浩,董树亭等.甜质型和普通型玉米籽粒发育过程中糖组分比较研究[J].中国农业科学,2003,36(7):764-769.
- [7] 孙政才,陈国平.甜玉米与普通玉米籽粒发育过程中碳水化合物及氨基酸消长规律的比较研究[J].作物学报,1992,18(4):304-306.
- [8] 乐素菊,王晓明,张璧等.果蔬型糯玉米与普通玉米乳熟期籽粒碳水化合物含量及果皮厚度研究[J].广东农业科学,2004,(6):40-42.
- [9] 刘鹏.不同胚乳类型玉米籽粒品质形成机理及其调控研究[C].泰安:山东农业大学博士学位论文,2003.47-102.
- [10] 刘晓冰,李文雄.春小麦籽粒灌浆过程中淀粉和蛋白质积累规律的初步研究[J].作物学报,1996,22(6):736-740.

### 《黑龙江农业科学》征稿启事

凡是投到《黑龙江农业科学》双月刊的文章,本刊先从以下方面进行撰写规范审查。审查通过后,方可进入学术审查程序。

为了使你的论文能及时进入学术审查程序,请参阅如下撰写规范:

- 1、是否是课题?如果是,请提供课题名称和编号,这将会使你的论文尽早发表。凡属于课题(无论哪一级政府或部门下达的课题)的论文,本刊优先送审,优先录用。
- 2、研究报告、试验报告必须交代清楚试验时间和地点;试验材料和试验方法。
- 3、必须提供第一作者简介,包括出生年份、籍贯、最终学历和职称、研究方向;同时,务必提供作者电子信箱、办公室电话、移动电话和详细通信地址。
- 4、必须有中英文摘要和关键词。中英文摘要重新写成400字以内的报道性摘要,即把目的、方法、结论和结果以数据或要点的形式放在摘要中。
- 5、必须有参考文献。参考文献应标注在正文引用处。参考文献必须符合著录规范。见本刊发布的《黑龙江农业科学》征稿简则。
- 6、文中计量单位要符合国家标准。
- 7、所有表格必须成三线表。所有坐标图表要求用 excel 软件制作,并带上数据库。
- 8、凡是因课题鉴定、成果验收、博士出站、硕士答辩以及紧急用于职称晋升的学术论文,请投稿时务必说明最晚发表期限,以免延误。
- 9、本刊实行电子信箱投稿,请将稿件以附件形式发送(E-mail:nykx13579@sina.com;nykx13579@126.com),投稿时请用 word 软件排版,以附件形式发信。没有条件进行电子信箱投稿的,也可以邮寄磁盘。
- 10、凡是电子信箱投稿者,本刊在工作日内实行即时回复,请作者及时打开信箱查看本刊回复修改意见,并及时回复。电子信箱投稿后,3日内未见本刊回复者,请及时与本刊编辑部电话联系(0451-86668373)。
- 11、被本刊录用的稿件同时通过因特网进行网络出版或提供信息服务,如不同意,请申请说明。如无说明将视为同意。

《黑龙江农业科学》编辑部