

# 薄膜覆盖减少化肥养分流失研究

陈火君, 卫泽斌, 吴启堂\*, 曾曙才

(华南农业大学资源环境学院, 农业部生态农业重点开放实验室, 广州 510642)

**摘要:** 我国化肥的利用率低, 使用量又不断增长, 增加了农业面源污染问题的严重性. 本研究针对化肥流失主要通过水带走的特性, 进行大田试验种植玉米, 利用薄膜覆盖所施用的化肥, 实现“肥与水隔离”, 以减少化肥流失. 试验一方面观察了不同施肥处理二季甜玉米的生长和产量, 另一方面测定了作物对肥料的利用率以及地表径流养分含量. 结果表明, 在本土壤条件下甜玉米只需施用常规施肥量的 70% 即可达到高产. 甜玉米收获后土壤中碱解氮、有效磷、有效钾的含量比不经薄膜覆盖的显著提高, 其顺序为 100% 施肥量 + 覆膜 > 70% 施肥量 + 覆膜 > 100% 施肥量、70% 施肥量 > 不施肥. 氮、磷、钾肥料的表观利用率分别为 42% ~ 87%、0% ~ 3% 和 5% ~ 15%, 覆膜处理一般高于不覆膜处理, 特别是在高施肥量情况下更为明显. 通过 8 次径流水的收集测定, 无薄膜覆盖的施肥处理的地表径流 N、P 和 K 平均浓度分别为 27.72、2.70 和 7.07 mg·L<sup>-1</sup>, 薄膜覆盖技术处理降低 N、P、K 浓度的效果分别达到了 39.54%、28.05%、43.74%, 对于减少农业面源污染和水体富营养化可起到明显效果.

**关键词:** 化肥; 薄膜覆盖; 流失; 肥料利用率; 农业面源污染

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2010)03-0775-06

## Reducing Nutrients Loss by Plastic Film Covering Chemical Fertilizers

CHEN Huo-jun, WEI Ze-bin, WU Qi-tang, ZENG Shu-cai

(Key Laboratory on Eco-agriculture of the Ministry of Agriculture, College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract** With the low utilization rate of fertilizers by crop and the growing amount of fertilizer usage, the agricultural non-point source pollution in China is becoming more and more serious. The field experiments planting corns were conducted, in which the applied chemical fertilizers were recovered with plastic film to realize the separation of fertilizers from rain water. In the experiments, the influences of different fertilizing treatments on the growing and production of sweet corn were observed. The fertilizer utilization rate and the nutrient contents in surface run-off water with and without the film covering were also determined. Results showed that with only 70% of the normal amount of fertilizers, the sweet corn could already get high yield under the experimental soil conditions. Soil analysis after corn crops showed that the amounts of available N, P and K in the soil increased obviously with the film-covering, and the decreasing order was 100% fertilizers with film-covering > 70% fertilizers with film-covering > 100% fertilizers > 70% fertilizers > no fertilizer. The average utilization coefficients of fertilizers by the crop were 42%–87%, 0%–3%, 5%–15% respectively for N, P and K. It was higher with film-covering than that without covering, especially for the high fertilization treatment. Analysis of water samples collected for eight run-off events showed that without film-covering N, P and K average concentrations in the runoff waters with fertilizations were 27.72, 2.70 and 7.07 mg·L<sup>-1</sup>, respectively. And they were reduced respectively by 39.54%, 28.05%, 43.74% with the film-covering. This can give significant benefits to the decrease of agricultural non-point source pollution and water eutrophication.

**Key words** chemical fertilizers; plastic-film covering; run-off loss; utilization coefficient of fertilizers; agricultural non-point source pollution

天然降水和不适当灌溉形成的地表径流, 将农田氮素、磷素转移带入到地表水体中, 造成土壤氮、磷的大量损失<sup>[1~3]</sup>. 研究表明, 化学氮肥的过量施用是国内外许多水源遭受氮素污染的一个重要原因, 我国苏南太湖流域, 农业面源氮素对地表水的污染负荷量高达  $2.55 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ , 占氮素化肥施用量的 16.8%<sup>[4]</sup>. 在法国, 由于长期大量地施用化学氮肥, 饮用水的硝态氮污染亦十分严重, 如巴黎附近的博斯地区, 地下水的硝态氮的浓度竟高达  $180 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[5]</sup>. 磷肥的施用也导致土壤磷积累, 对受纳

水体的质量构成威胁<sup>[6~8]</sup>.

减少肥料的损失主要方法有: ①平衡施肥方法, 主要通过合理的 N:P:K 比例及有机-无机肥料的配合施用提高肥料的肥效, 均衡地供给不同农作物的吸收利用, 高产地区限制化肥的滥施, 可以大大地减轻农业面源氮磷污染的负荷量<sup>[9,10]</sup>. ②养分控释技

收稿日期: 2009-02-11; 修订日期: 2009-10-12

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2007BAD89B14)

作者简介: 陈火君 (1970~), 男, 硕士, 农艺师, 主要研究方向为农业资源利用. E-mail: hjcher@scau.edu.cn

\* 通讯联系人, E-mail: wuqitang@scau.edu.cn

术的运用, 养分控释技术使养分释放与作物吸收较好地达到“供求”平衡<sup>[11]</sup>, 添加抑制剂减少氮肥磷肥的的释放<sup>[12 13]</sup>. ③变换施肥方式, 采用深施、穴施、叶面施肥<sup>[9]</sup>. ④大量增加土壤有机质, 最大限度保存土壤水分, 减少径流的产生<sup>[14]</sup>.

地膜覆盖栽培技术可产生 4 个效应: 地温对气温的补偿效应、土壤水分环境相对稳定效应、高光热效应、促根效应<sup>[15]</sup>. 此外, 还可以减少杂草丛生, 因此在作物栽培上广泛应用. 但是鲜见应用于减少化肥流失.

肥料的损失主要是通过雨水冲刷流失和淋溶下渗<sup>[16]</sup>以及挥发到空气等途径, 因此, 通过薄膜覆盖所施用的肥料, 使降水无法淋到化肥, 减少养分随水

流失, 而且可能减少肥料的挥发, 对提高化肥利用率, 减轻农业面源污染, 具有重要的理论意义和实用价值. 本研究通过玉米田间试验, 利用薄膜覆盖施用的化肥, 实现“肥与水隔离”, 减少化肥流失, 以此提高化肥的利用率, 减少化肥流失对水体造成的污染.

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试土壤

试验地在华南农业大学农场, 土壤中的全氮、全磷、全钾平均值分别为 1.36 0.82 95.35 g·kg<sup>-1</sup>, 土质为轻壤土 (卡庆斯基土壤质地分类法, < 0.01 mm 土粒 = 28%)<sup>[17]</sup> (表 1).

表 1 供试土壤理化性质

| 质地  | 阳离子交换量<br>/mol·kg <sup>-1</sup> | pH 值 | 有机质<br>/g·kg <sup>-1</sup> | 全氮<br>/g·kg <sup>-1</sup> | 全磷<br>/g·kg <sup>-1</sup> | 全钾<br>/g·kg <sup>-1</sup> | 有效养分 /mg·kg <sup>-1</sup> |       |       |
|-----|---------------------------------|------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------|-------|
|     |                                 |      |                            |                           |                           |                           | 碱解氮                       | 有效磷   | 有效钾   |
| 轻壤土 | 8.90                            | 5.47 | 26.65                      | 1.36                      | 0.82                      | 95.35                     | 136.3                     | 163.0 | 169.3 |

1.1.2 供试植物

本试验采用台湾华珍超甜玉米 (*Zea mays saccharata*), 为超甜黄白玉米, 近年来推广面积越来越大<sup>[18]</sup>.

1.2 试验设计方案

每个小区面积 1 m × 5 m, 设 6 个处理 4 次重复, 共 24 个小区按随机区组排列. 小区之间起小土畦隔开以分别收集小区产生的径流水. 小区出水口埋入塑料瓶以自动收集降雨产生的径流水.

试验设置的 6 个处理分别为: 不覆膜不施肥 (CK); 70% 施肥量; 100% 施肥量; CK + 覆膜; 70% 施肥量 + 覆膜; 100% 施肥量 + 覆膜, 具体见表 2 其中 100% 施肥量为正常施肥量<sup>[8]</sup>, 具体施用量为每 1/15 hm<sup>2</sup> 施 N: 20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 10 kg K<sub>2</sub>O: 20 kg (其中 10 kg N、10 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、10 kg K<sub>2</sub>O 采用 15-15-15 挪威复合肥, 另外 10 kg N 采用石家庄化肥有限公司的尿素, 10 kg K<sub>2</sub>O 采用中化化肥有限公司的氯化钾). 基肥采用复合肥 (1/3); 苗期追施复合肥 (1/3) + 尿素 (1/2); 拔节期追施尿素 (1/2) + 氯化钾 (1/2); 在喇叭口期追施复合肥 (1/3) + 氯化钾 (1/2). 由于试验地养分残留量太大, 在第二季只在拔节期和喇叭口期追肥, 施肥量为第一季的 50%. 施肥方法: 不管是基肥还是追肥, 肥料均呈条状均匀撒施在 2 行植株的中间, 基肥与土壤混合, 追肥不混合. 覆膜处理的小区每次施肥后均用农业上常用的黑色塑料薄膜覆盖. 薄膜覆盖方法见图 1 所示. 盖住

垄面中间约 2/5 的面积. 两季玉米试验完毕后回收薄膜.

表 2 玉米施肥和覆膜试验处理设置

| Table 2 Fertilization and plastic-film covering treatments of the com experiment |               |                                                                                                      |      |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 处理序号                                                                             | 处理名称          | 施肥量                                                                                                  | 覆膜与否 |
| 1                                                                                | 不施肥不覆膜 (CK)   | 0                                                                                                    | 否    |
| 2                                                                                | 70% 施肥量       | 正常的 70%                                                                                              | 否    |
| 3                                                                                | 100% 施肥量      | 正常 (每 1/15 hm <sup>2</sup> 施 N: 20 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 10 kg K <sub>2</sub> O: 20 kg) | 否    |
| 4                                                                                | CK + 覆膜       | 0                                                                                                    | 覆膜   |
| 5                                                                                | 70% 施肥量 + 覆膜  | 正常的 70%                                                                                              | 覆膜   |
| 6                                                                                | 100% 施肥量 + 覆膜 | 正常 (每 1/15 hm <sup>2</sup> 施 N: 20 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 10 kg K <sub>2</sub> O: 20 kg) | 覆膜   |

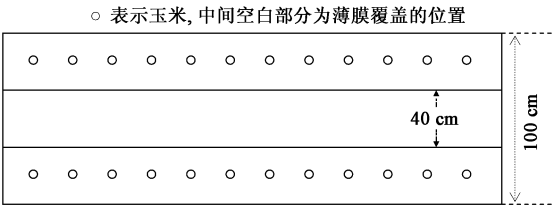


图 1 薄膜覆盖示意

Fig 1 Schematic diagram showing the film covering chemical fertilizers

甜玉米试验第一季在 2007 年 3 月 3 日播种于

塑胶育苗盘, 3月 25日三叶秧龄移栽, 每小区种植 2 列, 每列 12棵 (株距为 42 cm), 共 24棵. 每次施肥后的第一、二次明显降雨后收集产生的径流水. 6月 5日采收第一季玉米, 并制备植株样品供分析用. 6月 7日采集土样. 第二季甜玉米于 2007年 8月 5日播种, 8月 18日移栽, 其余同第一季. 10月 17日采收玉米和土样.

1.3 分析测试方法

1.3.1 土壤基本理化性质的测定

土壤样品在室内风干, 去除碎石、根茎, 并研磨过 2 mm 和 0.125 mm 尼龙筛备用. 土壤样品理化性质的测定方法参照文献 [17].

1.3.2 植物样品的测定

样品处理: 每小区随机抽取 3棵具代表性的植株, 将植株用清水洗净以去除沙质、泥土, 茎叶切碎、混均匀, 用四分法取样约 250 g 在 105℃烘箱鼓风杀青 30 min 然后在 75℃恒温下烘 3 d 取出, 称重, 磨碎, 装密封袋.

玉米籽粒处理: 随机抽取各小区玉米鲜苞各 2条, 先自然风干 4 d 脱粒称样约 250 g 在 75℃恒温烘 2 d 取出, 称重, 磨碎, 包装登记后保存备用. 植株样品理化性质的常规分析及测定方法主要参照文献 [17].

1.3.3 水样的测定

降雨造成的径流水自动流入埋在土中的特制塑料瓶, 取出倒入清洁水瓶带回实验室, 放置冰箱待测. 水样的理化性质测定参照文献 [19].

1.3.4 数据处理

肥料表观利用率采用下列公式计算:

肥料表观利用率 (%) = [(植株总吸收量)施肥处理 - (植株总吸收量)不施肥处理] ÷ 施肥量 × 100%

数据采用 Excel整理, 方差分析采用 SPSS10.0 软件分析, 用 Duncan法进行多重比较, 或 t 检验 2 个平均值间的差异.

2 结果与讨论

2.1 植株生物量

表 3 是收获甜玉米的生物量. 结果表明, 第 1季各处理之间玉米生物量和籽粒产量差异不显著. 但从大田长势来看, 施肥的、覆膜的长势壮旺, 叶片浓绿, 而未施肥小区则叶片稍黄. 玉米产量差异不显著, 可能跟原土壤有效养分残留量过大有关 (表 1). 第 2季施肥具有显著效果, 但是施肥量多少和覆膜与否对产量影响不显著. 由此可见, 在本试验条件下, 施肥量为正常施肥量的 70% 时, 即可达到高产.

2.2 植物的氮磷钾含量

表 3 不同处理甜玉米的生物量<sup>1)</sup> /kg·plot<sup>-1</sup>  
Table 3 Yields of two harvests of the sweet corn for different treatments /kg·plot<sup>-1</sup>

| 处理           | 第 1季         |             | 第 2季         |             |
|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
|              | 茎叶           | 籽粒          | 茎叶           | 籽粒          |
| 不施肥不覆膜 (CK)  | 13.76±0.44 a | 7.10±0.18 a | 7.65±1.16 b  | 5.94±0.46 b |
| 70% 施肥量      | 14.56±0.42 a | 7.30±0.27 a | 8.23±0.31 ab | 6.66±0.27 a |
| 100% 施肥量     | 14.05±1.28 a | 7.15±0.21 a | 9.44±0.79 a  | 6.93±0.21 a |
| CK+ 覆膜       | 14.13±0.83 a | 7.14±0.26 a | 7.49±0.93 b  | 5.76±0.71 b |
| 70% 施肥量+ 覆膜  | 13.80±1.77 a | 7.13±0.29 a | 9.03±0.25 a  | 6.76±0.15 a |
| 100% 施肥量+ 覆膜 | 14.31±0.69 a | 7.25±0.14 a | 9.29±0.98 a  | 7.04±0.25 a |

1) 表中数据是平均值 ±标准偏差 (n=4); 方差分析表明, 同列数据带有相同字母的平均值间无显著差异 (p=0.05), 下同

表 4 为收获植株氮、磷、钾总量, 用 g·plot<sup>-1</sup> 来表示. 第 1季 100% 施肥量经薄膜覆盖处理的玉米吸收的氮、磷、钾总量最高, 100% 施肥量无覆膜处理的氮、磷、钾吸收总量明显较低, 可见造成了肥料的浪费. 第 2季 100% 施肥量薄膜覆盖处理的效果也显示出来.

2.3 土壤的氮磷钾含量

在收获第一季甜玉米后测定的土壤残留有效养分含量表明 (表 5), 土壤中的碱解氮、有效磷差异并不显著, 但有效钾在各处理之间有显著差异, 100%

施肥量加薄膜覆盖处理的达到 670.1 mg·kg<sup>-1</sup>, 为最高, 不施肥的处理为最低, 其余无显著差异. 第二季玉米收获后土样碱解氮以 100% 施肥薄膜覆盖的含量为最高, 70% 施肥薄膜覆盖次之, 显著高于其它处理, 甚至高于 100% 施肥无薄膜覆盖的处理. 土壤有效磷、有效钾各施肥处理间并没有显著差异, 只是施肥处理的含量高于不施肥处理.

2.4 塑料薄膜覆盖技术对肥料利用率的影响

随氮肥施用量的增加, 氮肥利用率呈现下降趋势<sup>[20]</sup>. 本试验测定结果同样显示 (表 6), 在第一季

表 4 不同处理中玉米氮磷钾总吸收量 /g• pht<sup>-1</sup>  
Table 4 TotalN, P andK uptake by the sweet com of the first harvest for different treatments/g• plot<sup>-1</sup>

| 处理            | N            |             | P           |             | K           |              |
|---------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
|               | 第 1季         | 第 2季        | 第 1季        | 第 2季        | 第 1季        | 第 2季         |
| 不施肥不覆膜 (CK)   | 58.88±4.05c  | 34.56±10.8b | 9.39±0.47b  | 8.72±0.43b  | 61.88±7.02b | 30.09±9.62b  |
| 70% 施肥量       | 67.44±3.12b  | 42.91±6.91b | 9.51±1.21b  | 7.85±1.01c  | 67.49±3.94b | 31.05±4.27b  |
| 100% 施肥量      | 57.91±4.25c  | 47.68±4.67b | 7.68±1.17c  | 8.35±0.15bc | 66.19±3.34b | 38.41±4.15ab |
| CK + 覆膜       | 62.57±5.07bc | 44.95±9.07b | 9.66±1.79b  | 9.20±1.07ab | 62.00±1.72b | 31.19±4.51ab |
| 70% 施肥量 + 覆膜  | 61.20±4.13bc | 49.18±4.26b | 8.76±0.95bc | 9.17±0.45ab | 68.31±12.8b | 35.75±2.64ab |
| 100% 施肥量 + 覆膜 | 79.62±1.15a  | 61.49±6.15a | 11.49±0.29a | 9.63±0.21a  | 83.95±7.65a | 40.98±5.40a  |

表 5 两季玉米收获后不同处理土壤中有效氮磷钾含量 /mg• kg<sup>-1</sup>  
Table 5 Available N, P and K contents in the soils after the first and second harvest of the sweet com /mg• kg<sup>-1</sup>

| 处理            | 碱解 N        |              | 有效 P        |              | 有效 K        |              |
|---------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|               | 第 1季        | 第 2季         | 第 1季        | 第 2季         | 第 1季        | 第 2季         |
| 不施肥不覆膜 (CK)   | 119.6±4.36a | 152.7±72.7cd | 145.4±25.0a | 151.1±37.5bc | 105.1±18.3c | 123.7±139bc  |
| 70% 施肥量       | 119.3±1.55a | 214.2±39.5c  | 171.3±57.7a | 216.1±54.0a  | 331.6±45.2b | 315.1±20.8a  |
| 100% 施肥量      | 157.4±60.6a | 204.9±42.8c  | 179.9±30.3a | 210.4±20.3ab | 379.1±38.4b | 233.0±61.5ab |
| CK + 覆膜       | 116.4±8.56a | 112.9±7.40d  | 147.8±26.0a | 141.0±35.4c  | 76.6±14.0c  | 62.4±23.7c   |
| 70% 施肥量 + 覆膜  | 139.6±12.7a | 331.8±92.9b  | 184.3±21.7a | 222.4±21.0a  | 450.4±134b  | 213.3±47.1ab |
| 100% 施肥量 + 覆膜 | 181.6±73.4a | 475.6±31.1a  | 174.7±20.3a | 264.3±62.9a  | 670.1±212a  | 282.9±70.9a  |

表 6 不同薄膜覆盖施肥处理甜玉米对肥料的表观利用率<sup>1)</sup> %  
Table 6 Apparent utilization coefficients of the applied fertilizer nutrients by the sweet com for different treatments %

| 处理            | 第一季         |             |             | 第二季          |            |             |
|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------|------------|-------------|
|               | N           | P           | K           | N            | P          | K           |
| 70% 施肥量       | 69.23±4.63a | 0.95±1.65ab | 5.37±3.79a  | 85.62±13.8ab | 0.00±0.00b | 6.23±4.44a  |
| 70% 施肥量 + 覆膜  | 62.97±5.09a | 0.00±0.00b  | 7.59±10.58a | 87.57±9.91a  | 2.74±0.45a | 12.22±2.76a |
| 100% 施肥量      | 42.39±4.57c | 0.00±0.00b  | 4.88±2.27b  | 66.61±6.52b  | 0.00±0.00b | 15.26±3.18a |
| 100% 施肥量 + 覆膜 | 55.61±0.85b | 2.25±0.01a  | 11.27±1.34a | 75.49±9.45ab | 2.96±0.61a | 12.55±6.93a |

1) 第一季和第二季分别指 2007-03~ 2007-06和 2007-08~ 2007-10 期间种植的甜玉米

玉米中, 70% 施肥量的氮的表观利用率高于 100% 施肥量, 且达到显著差异. 第二季 70% 施肥量 N 的表观利用率也高于 100% 施肥量的利用率. 第二季减少了施肥量, N、K 的表观利用率均高于第一季. 经薄膜覆盖处理的肥料表观利用率一般高于无薄膜覆盖处理, 或者无显著差异. P 的表观利用率很低, 误差大, 没有表现出明显的规律.

2.5 径流水氮磷钾含量

从第一季玉米降雨造成的径流水的测定结果 (图 2) 来看, 不经薄膜覆盖处理的径流水含氮量比经薄膜覆盖处理的含氮量高, 尤其是 5 月 22 日所取水样最为显著. 不经薄膜覆盖处理的径流水的含磷量与经薄膜覆盖处理的含磷量差异较小, 经 t 检验, 差异并不显著. 无薄膜覆盖处理的径流水钾的含量比薄膜覆盖处理的高, 且两者之间有显著差异.

在浓度数值上, N 的浓度变化于 3~ 30 mg• L<sup>-1</sup> 之间, P 的浓度变化于 0.2~ 2.0 mg• L<sup>-1</sup> 之间, 明显高于发达国家的草地<sup>[21]</sup>, 他们的测定结果表明, 夏季 N 和 P 的流失浓度分别为 0.6~ 5.5 mg• L<sup>-1</sup> 和 0.06~ 0.77

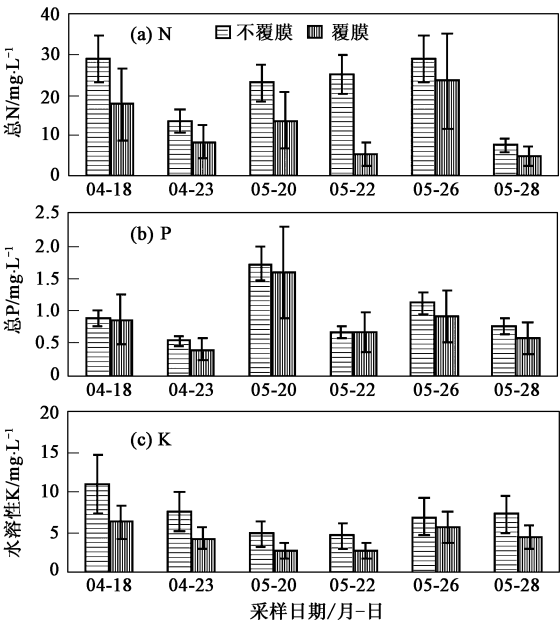


图 2 第一季玉米薄膜覆盖处理对径流水中氮、磷、钾含量的影响  
Fig 2 Effects of the plastic-film covering chemical fertilizers on N, P and K concentrations in the run-offwaters for the first harvest of the sweet com

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 秋季 N 和 P 的流失分别为  $0.4 \sim 1.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $0.04 \sim 0.20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ .

第二季玉米生长过程中降水较少, 只收集到 2 次径流. 无薄膜覆盖处理的水样的氮、磷、钾含量比薄膜覆盖的高 (图 3), 尤以 9 月 13 日差异最甚, 主要是因为当日上午施肥, 当晚下雨所致.

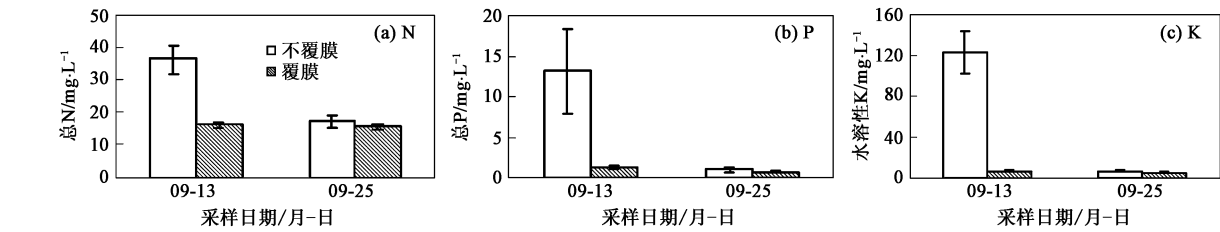


图 3 第二季玉米径流水中的氮、磷、钾含量

Fig 3 Effects of the plastic-film covering chemical fertilizers on N, P and K concentrations in the run-offwaters for the second harvest of the sweet corn

表 7 塑料薄膜覆盖对地表径流 N、P、K 养分平均浓度的影响 / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

Table 7 Effects of the plastic-film covering chemical fertilizers on N, P and K average concentrations in the run-offwaters / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

| 项目        | N             | P            | K            |
|-----------|---------------|--------------|--------------|
| 覆膜        | 13.22 ± 6.54b | 1.49 ± 1.55b | 4.38 ± 1.46b |
| 不覆膜       | 22.72 ± 9.45a | 2.70 ± 4.64a | 7.07 ± 2.34a |
| 覆膜降低效果 /% | 39.54         | 28.05        | 43.74        |

其它减少地表径流 N、P 流失的施肥方式有控释 (缓释) 肥料、肥料添加剂、肥料深施和秸秆覆盖等. 纪雄辉等<sup>[22]</sup>发现施用控释肥后的第 1 次径流全 N 损失比施用尿素降低了 42.9%, 但第 2 次径流 (15 d) 以后处理之间全 N 损失差异不显著. 章明奎等<sup>[23]</sup>通过粪肥添加明矾处理, 小区径流中 P 浓度比未加明矾处理小区平均低 63.6%, 但添加明矾与否, 对农田径流中水溶性全 N、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  浓度影响不大. 前面 2 个例子均通过改变肥料的溶解性来减少肥料的流失. 但是控释肥料的成本有待降低, 明矾的加入在南方酸性土壤上可能造成 Al 毒害. 另外, Zeng 等<sup>[24]</sup>研究将肥料施入土壤 20 cm 深处, 可减少果园坡地 N、P 流失分别达到 56% 和 46%. 段亮等<sup>[25]</sup>研究表明, 秸秆覆盖可降低 59.8% 的氮流失. 后面这 2 个例子可以归结为物理隔离措施, 减少雨水对肥料的冲刷. 对于基肥, 化肥深施在国内外均有采用, 特别是在发达国家通过机械直接将肥料深施. 但对于追肥, 则由于已经有作物而较难实施. 秸秆覆盖在我国茶园广泛应用, 但要有方便的秸秆来源, 且后期部分分解后的遮挡作用减弱. 薄膜

综合全年所采集水样的测定结果, 在无薄膜覆盖处理的径流水中, N、P、K 含量的平均值分别为 22.72、2.70 和 7.07  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 有薄膜覆盖处理的径流水中, N、P、K 含量的平均值分别为 13.22、1.49 和 4.38  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  (表 7), 薄膜覆盖平均降低效果分别为 39.54%、28.05% 和 43.74%.

覆盖也属于物理隔离措施, 它使用方便, 已经在不少作物上使用, 中国南方地区烟草、草莓等的种植已广泛使用, 主要是用来保温和减少杂草生长. 研究表明, 它还有利于减少化肥流失. 因此, 从减少农业面源污染的角度出发, 成行种植的旱地作物值得采用薄膜覆盖肥料的技术.

肥料施入农田后的主要去向有: ①在雨水冲刷下流失到地表水体; ②淋溶下渗透到地下水; ③气态挥发到空气中; ④被作物吸收利用; ⑤残留在土壤中. 本研究主要表明了薄膜覆盖肥料减少了第 ①种损失, 也表明了该技术可增加作物吸收利用率 (表 6) 和残留在土壤中 (表 5). 可以想象, 由于薄膜覆盖减少气态挥发损失, 以及减少了下渗水而减少输出到地下水. 但是后 2 种作用没有数据支撑, 需要今后更深入的研究来阐明, 也还需要多年的试验来检验本研究得出的效果.

3 结论

- (1) 在本试验高残留肥力水平的田块上, 甜玉米只需施用常规施肥量的 70% 即可达到高产目标.
- (2) 经薄膜覆盖化肥处理措施, 土壤中碱解氮的含量比不覆膜的显著提高, 可有效地保存土壤养分.
- (3) 覆膜处理有利于提高玉米对氮、钾肥料的利用率.
- (4) 8 次径流水的收集测定结果表明, 经薄膜覆盖化肥处理措施, 径流水 N、P、K 浓度的降低效果分别达到了 39.54%、28.05%、43.74%, 这对于减少

## 农业面源污染、保护日益富营养化的水环境具有明显的作用.

### 参考文献:

- [ 1 ] 司友斌, 王慎强, 陈怀满. 农田氮、磷的流失与水体富营养化 [ J ]. 土壤, 2000, **32**( 4 ): 188-193.
- [ 2 ] 杨丽霞, 杨桂山, 苑韶峰, 等. 不同雨强条件下太湖流域典型蔬菜地土壤磷素的径流特征 [ J ]. 环境科学, 2007, **28**( 8 ): 1763-1769.
- [ 3 ] Ramos M C, Martinez-Casasnovas J A. Nutrient losses by runoff in vineyards of the Mediterranean Alt Penedes region ( NE Spain ) [ J ]. Agr Ecosyst Environ, 2006, **113**: 356-363.
- [ 4 ] 马立珊, 张水铭, 张桂英. 苏南太湖水系农业面源污染及其控制对策研究 [ J ]. 环境科学学报, 1997, **17**( 1 ): 39-47.
- [ 5 ] Van der Sah C, Do King J H, einen M, *et al* Estimation of nitrogen losses via denitrification from a heavy clay soil under grass [ J ]. Agr Ecosyst Environ, 2006, **119**( 3-4 ): 311-319.
- [ 6 ] Zhang H, Schroder J L, Davis R L, *et al* Phosphorus loss in runoff from long-term continuous wheat fertility trials [ J ]. Soil Sci Soc Am J, 2006, **70**: 163-171.
- [ 7 ] Chen M, Chen J, Sun F. Agricultural phosphorus flow and its environmental impacts in China [ J ]. Sci Total Environ, 2008, **405**: 140-152.
- [ 8 ] Franklin D, Tuman C, Potter T, *et al* Nitrogen and phosphorus runoff losses from variable and constant intensity rainfall simulations on loamy sand under conventional and strip tillage systems [ J ]. J Environ Qual, 2007, **36**: 846-854.
- [ 9 ] 苑韶峰, 吕军, 俞劲炎. 氮、磷的农业非点源污染防治方法 [ J ]. 水土保持学报, 2004, **18**( 1 ): 122-125.
- [ 10 ] 黄东风, 王果, 李卫华, 等. 不同施肥模式对蔬菜产量、硝酸盐含量及菜地氮磷流失的影响 [ J ]. 水土保持学报, 2008, **22**( 5 ): 5-10.
- [ 11 ] 段路路, 张民, 刘刚, 等. 缓控释肥料在不同介质中的养分释放特性及其肥效 [ J ]. 应用生态学报, 2009, **20**( 5 ): 1118-1124.
- [ 12 ] 俞巧钢, 符建荣, 马军伟, 等. DM PP对菜地土壤氮素径流损失的影响 [ J ]. 环境科学, 2009, **30**( 3 ): 870-874.
- [ 13 ] 黄东风, 王果, 李卫华, 等. 菜地土壤氮磷面源污染现状、机制及控制技术 [ J ]. 应用生态学报, 2009, **20**( 4 ): 991-1001.
- [ 14 ] 杨才敏. 土壤有机质与水土流失的关系定量研究 [ J ]. 水土保持研究, 2008, **15**( 5 ): 177-179.
- [ 15 ] 陈奇恩. 中国塑料薄膜覆盖农业 [ J ]. 中国工程科学, 2002, **4**( 4 ): 12-15.
- [ 16 ] Zhang H C, Cao Z H, Shen Q R, *et al* Effect of phosphate fertilizer application on phosphorus ( P ) losses from paddy soils in Taihu Lake Region I Effect of phosphate fertilizer rate on P losses from paddy soil [ J ]. Chemosphere, 2003, **50**( 6 ): 695-701.
- [ 17 ] 鲍士旦. 土壤农化分析 [ M ]. ( 第三版 ). 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [ 18 ] 黄昌礼, 张楚文, 王阳青. 甜玉米优质高产栽培技术 [ J ]. 杂粮作物, 2003, **23**( 4 ): 219-220.
- [ 19 ] 国家环境保护局. 水和废水监测分析方法 [ M ]. ( 第三版 ). 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [ 20 ] 易振邪, 王璞, 刘明, 等. 不同类型氮肥与施氮量下夏玉米水、氮利用及土壤氮素表观盈亏 [ J ]. 水土保持学报, 2006, **20**( 1 ): 63-67.
- [ 21 ] Robertson F A, Nash D M. Phosphorus and nitrogen in soil plants and overland flow from sheep-grazed pastures fertilized with different rates of superphosphate [ J ]. Agr Ecosyst Environ, 2008, **126**( 3-4 ): 195-208.
- [ 22 ] 纪雄辉, 郑圣先, 鲁艳红, 等. 施用尿素和控释氮肥的双季稻田表层水氮素动态及其径流损失规律 [ J ]. 中国农业科学, 2006, **39**( 12 ): 2521-2530.
- [ 23 ] 章明奎, 郑顺安, 王丽平. 粪肥添加明矾对降低农田磷和重金属流失的作用 [ J ]. 水土保持学报, 2007, **21**( 1 ): 65-67.
- [ 24 ] Zeng S C, Su Z Y, Chen B G, *et al* Nitrogen and Phosphorus runoff losses from orchard soils in south China as affected by fertilization depths and rates [ J ]. Pedosphere, 2008, **18**( 1 ): 45-53.
- [ 25 ] 段亮, 段增强, 常江. 地表管理与施肥方式对太湖流域旱地氮素流失的影响 [ J ]. 农业环境科学学报, 2007, **26**( 3 ): 813-818.