



农业面源污染防治中不同玫瑰品种磷养分管理研究

付利波¹ 苏帆¹ 尹梅¹ 陈华¹ 洪丽芳^{1*} 赵光顺² 王家得²

(1 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明, 650023

2 晋宁县蔬菜花卉办公室, 云南昆阳, 650600)

摘要: 试验以滇池周边主要农业生产区晋宁县3个主栽玫品种为研究对象, 在有5年玫瑰栽培历史的土地上, 以减少磷素流失为目标, 在不影响花卉经济收入的情况下, 研究磷素养分精准化管理对植株、土壤和地下水磷含量变化规律的影响, 提出磷高效利用的污染防治型品种和养分最佳用量。结果表明, 从产量、经济效益、植株吸收磷量、土壤磷盈亏、地下水磷污染风险等方面综合考虑, 该试验条件下推荐磷高效利用、环境友好型玫瑰品种为超级, 推荐处理为农民习惯施肥减磷25%, 施肥量11.25公斤/亩。三个品种比较, 产量、经济效益、植株吸收磷量: 超级>艳粉>黑玫; 土壤速效磷、全磷、0~60厘米土层含磷总量、地下水磷含量: 黑玫>艳粉>超级。三个土层比较, 土壤磷: 上层(0~20厘米)>中层(20~40厘米)>下层(40~60厘米); 试验采收时与处理前采样进行土壤磷盈亏比较, 三个玫瑰品种不施磷处理均出现土壤磷亏缺; 减磷50%处理磷开始在土壤中富集, 并随施肥量增多而富集加剧。土壤速效磷、全磷、0~60厘米土层含磷总量、地下水磷含量却随磷施用量增加而增加, 加大了土壤、地下水的磷污染负荷。

关键词: 玫瑰 磷 产量 植株 土壤 地下水

磷(P)是植物生长所必需的大量营养元素, 又是水体产生富营养化的主要因素之一。研究表明, 在许多地区, 以农田排P为主的农业非点源污染已成为水体中P的最主要来源, 而且所占份额仍在不断增加。滇池流域也不例外, 近年随着农业产业结构的调整和种植方式的改变, 滇池周边地区以塑料大棚为主的花卉种植面积迅速扩大, 单位面积化肥施用量成倍提高, 农田中多余的P随着农田径流、侧渗和垂直下渗等多种途经输入滇池, 是滇池水体富营养化的重要原因之一^[1-5]。而有关滇池流域精准化养分管理对植株、土壤(不同层次)、地下水P累积与环境风险研究尚未见报道, 本试验以减少磷素流失为目标, 在不影响花卉经济收入的情况下, 研究磷减施对植株、土壤和地下水磷含量变化规律的影响, 提出P高效利用的污染防治型品种和养分最佳用量。

1 试验设计与材料

1.1 试验材料

试验于2008年在云南昆明晋宁县昆阳镇凤踪村已种植5年的花卉大棚中进行。试验选三个玫瑰主栽品种: 超级、艳粉和黑玫, 三个品种试验布置在同一连体大棚中。

供试土壤为水稻土, 为当地中高肥力田块。试验前分别取0~20厘米、20~40厘米、40~60

国家科技支撑计划项目资助(2007BAD87B12)和国际植物营养研究所(IPNI)资助

通讯作者, E-mail: gredbean@163.com

作者简介: 付利波(1971.10), 女, 云南宣威人, 农学学士, 副研究员, 研究方向: 土壤肥料与农业环境资源研究。E-mail: fulibo001@yahoo.com.cn, Tel: 13888289163

厘米土层基础土样测定土壤碱解N(碱解扩散法)、全N(半微量凯氏法)、有效P(0.5mol/L NaHCO₃浸提·钼锑抗比色法)、全P(碱熔·钼锑抗比色法)、速效K(乙酸铵溶液浸提·火焰光度计法)、全K(碱熔·火焰光度计法)、pH(玻璃电位法)和有机质(重铬酸钾容量法)^[6-8]。结果见表1。

试验用氮肥为尿素(46%),磷肥为普通过磷酸钙(16%),钾肥为氯化钾(60%)。分别于平茬后7天、30天和初花期施入。

表1 供试土壤农化性状

| 品种 | 土层 | N(克/公斤) | | P(克/公斤) | | K(克/公斤) | | pH | OM (%) |
|----|---------|---------|-------|---------|------|---------|--------|------|--------|
| | | 碱解N | 全N | 速效P | 全P | 速效K | 全K | | |
| 超级 | 0-20厘米 | 0.25 | 2.046 | 0.151 | 1.83 | 0.276 | 15.709 | 5.96 | 3.08 |
| | 20-40厘米 | 0.307 | 2.085 | 0.134 | 1.82 | 0.285 | 15.726 | 6.05 | 3.25 |
| | 40-60厘米 | 0.311 | 2.091 | 0.096 | 1.79 | 0.239 | 16.035 | 6.53 | 2.87 |
| 艳粉 | 0-20厘米 | 0.337 | 2.086 | 0.046 | 2.17 | 0.328 | 11.957 | 6.87 | 3.12 |
| | 20-40厘米 | 0.327 | 2.093 | 0.09 | 2.14 | 0.31 | 15.767 | 6.87 | 2.68 |
| | 40-60厘米 | 0.248 | 2.102 | 0.037 | 2.12 | 0.201 | 16.659 | 6.87 | 1.94 |
| 黑玫 | 0-20厘米 | 0.312 | 2.079 | 0.216 | 2.22 | 0.337 | 16.318 | 4 | 3.25 |
| | 20-40厘米 | 0.376 | 2.089 | 0.208 | 2.19 | 0.347 | 17.726 | 4.77 | 3.29 |
| | 40-60厘米 | 0.354 | 2.097 | 0.269 | 2.16 | 0.362 | 17.21 | 5.7 | 3.07 |

1.2 试验设计

三个品种试验均设4个处理P0、P1、P2、P3,4次重复,每个小区面积8.4平方米,随机区组排列。其中P3为农民习惯施肥,P0为不施磷处理,P1为减磷50%处理,P2为减磷25%处理,评价减少磷施用量对玫瑰产量和环境的影响;所有处理氮、钾肥用量相同(N用量18.75公斤/亩、K₂O用量21公斤/亩),具体各处理磷肥用量见表2,其它田间管理按常规栽培技术要求进行。

表2 试验处理及施肥量

| 处理 | P ₂ O ₅ (公斤/亩) | | | |
|----|--------------------------------------|------|------|------|
| | 总量 | 第一次 | 第二次 | 第三次 |
| P0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| P1 | 7.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| P2 | 11.25 | 3.75 | 3.75 | 3.75 |
| P3 | 15 | 5 | 5 | 5 |

1.3 样品采集及分析

1.3.1 植株样品采集与测定:根据玫瑰生长规律,每次施肥前各小区取植株2株,每处理共取8株测定植株全磷含量(硫酸-过氧化氢消煮法—钼蓝比色法)^[8]。

1.3.2 土样采取与测定:土样采用土钻法,分别在每次施肥前和收获后,分三层(0~20厘米,20~40厘米,40~60厘米)取土样,每小区取3个样点,取样点在畦上两株之间。将取自相同处理同一土层的土样于田间混合均匀后自然风干,磨碎后过80目筛,分别测定土壤有效P(0.5mol/L NaHCO₃浸提·钼锑抗比色法)、全P(碱熔·钼锑抗比色法)^[6-8]。

1.3.3 地下水样的采集与测定:每次施肥前每处理挖深80厘米剖面一个,待剖面坑里水汇集至刚澄

清,取水样600ml,测定地下水总磷、水溶性总磷(过硫酸钾消解法—钼锑抗分光光度法)^[9]。

2 结果分析

2.1 不同养分管理对不同玫瑰品种产量与经济效益的影响

2.1.1 不同养分管理对不同玫瑰品种产量的影响

玫瑰采收季节,按花农采收标准,对玫瑰实时采摘并计产得出小区产量,折算出各处理玫瑰产量,见表3。结果表明,在氮、钾用量相同的情况下,三个品种减少磷用量25%处理产量最高,比农民习惯施肥P3,都有不同程度增产,差异不显著,分别增0.35%、3%、3.66%;减磷50%和不施磷处理却出现减产现象,减磷50%处理减产0.75%、2.07%、0.79%,不施磷处理减产18.84%、7.37%和2.52%。三个品种产量比较,超级最高,艳粉次之,黑玫最低。

表3 不同养分管理对不同玫瑰品种产量(枝/亩)的影响

| 处理 | 超级 | | 艳粉 | | 黑玫 | |
|----|--------------|---------|--------------|---------|--------------|--------|
| | 产量均值 | 标准差 | 均值 | 标准差 | 均值 | 标准差 |
| P0 | 9881.3aA | 1393.89 | 7976.6aA | 333.62 | 4729.9bA | 183.92 |
| P1 | 12083.8aA | 1657.78 | 8432.94aA | 639.47 | 4813.87abA | 148.25 |
| P2 | 12217.8aA | 1627.43 | 8869.5aA | 1096.66 | 5029.67aA | 155.21 |
| P3 | 12175.5aA | 1444.56 | 8611.5aA | 474.01 | 4852.07abA | 101.13 |
| | 处理间F值: 2.207 | | 处理间F值: 1.162 | | 处理间F值: 2.832 | |
| | 显著水平: 0.1400 | | 显著水平: 0.3645 | | 显著水平: 0.0832 | |

备注: P0: 不施肥、P1: P3减P50%、P2: P3减P25%、P3: 农民习惯施肥,下同。

2.1.2 不同养分管理对不同玫瑰品种经济效益的影响

按花农采收标准,对试验玫瑰实时采摘并计产得出小区产量,按当时市场平均价计算产值,减去施用磷肥成本,折算出各处理玫瑰经济效益(表4)。结果表明,在已种植玫瑰5年、连续高强度施肥的土壤上,超级、艳粉、黑玫减磷25%经济效益最好。从表中数据可看出,在氮、钾用量相同的情况下,与农民习惯施肥P3处理比较,三个品种减磷25%处理经济效益增加最多,分别增0.58%、3.36%和4.32%;减磷50%处理超级、艳粉经济效益开始降低,降低0.31%和1.46%,黑玫仍保持增长,增0.35%;不施磷处理经济效益都有降低,三个品种分别降18.11%、6.18%和0.27%;三个品种经济效益比较,超级最高,艳粉次之,黑玫最低。

表4 不同养分管理对不同玫瑰品种经济效益(元/亩)的影响

| 处理 | 磷肥成本 | 扣除磷肥成本后经济效益 | | |
|----|-------|-------------|----------|----------|
| | | 超级 | 艳粉 | 黑玫 |
| P0 | 0 | 5928.78 | 4785.96 | 2837.94 |
| P1 | 32.81 | 7217.47 | 5026.954 | 2855.512 |
| P2 | 49.22 | 7281.46 | 5272.48 | 2968.582 |
| P3 | 65.63 | 7239.67 | 5101.27 | 2845.612 |

备注: 普通过磷酸钙: 700元/吨,经济效益仅为扣除磷肥成本而未考虑其它成本的经济效益;花价: 按当时市场平均价12元/20枝计算。

2.2 不同养管理对不同玫瑰品种植株磷含量的影响

采收时对玫瑰整株取样进行植株全磷分析, 结果表明: 玫瑰植株吸收磷在整株、茎叶、根、花中均表现为: 超级 > 艳粉 > 黑玫; 在氮、钾用量相同的情况下, 三个品种植株整株、茎叶、根和花吸收磷量均随施磷量增加而增加, 磷用量到 15 公斤/亩时, 反而下降, 可能与高磷处理植株生长受影响有关。植株各部位吸收磷量 (4 个处理平均值) 茎叶: 根: 花, 超级为 1 : 0.92 : 0.20, 艳粉是 1 : 0.96 : 0.26, 黑玫 1 : 0.84 : 0.41。

表5 不同养管理对不同玫瑰品种植株吸收磷的影响

| 处理 | 超级 (公斤/亩干基) | | | | 艳粉 (公斤/亩干基) | | | | 黑玫 (公斤/亩干基) | | | |
|----|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|-------------|------|------|------|
| | 整株 | 茎叶 | 根 | 花 | 整株 | 茎叶 | 根 | 花 | 整株 | 茎叶 | 根 | 花 |
| P0 | 1.42 | 0.70 | 0.60 | 0.14 | 1.13 | 0.00 | 0.51 | 0.48 | 0.14 | 0.73 | 0.31 | 0.29 |
| P1 | 1.54 | 0.71 | 0.68 | 0.15 | 1.24 | 0.00 | 0.57 | 0.53 | 0.14 | 0.79 | 0.34 | 0.31 |
| P2 | 1.62 | 0.76 | 0.71 | 0.15 | 1.32 | 0.00 | 0.60 | 0.57 | 0.15 | 0.78 | 0.36 | 0.28 |
| P3 | 1.60 | 0.73 | 0.72 | 0.15 | 1.30 | 0.00 | 0.58 | 0.57 | 0.14 | 0.77 | 0.36 | 0.28 |

2.3 不同养管理对不同玫瑰品种土壤磷含量的影响

2.3.1 不同养管理对不同玫瑰品种土壤速效磷的影响

通过收获当天分三层 (0 ~ 20 厘米, 20 ~ 40 厘米, 40 ~ 60 厘米) 在畦上两株之间采集土样, 进行土壤速效磷测试。结果可以看出, 在配施一定量氮、钾基础上, 随着磷肥用量的增加, 土壤速效磷含量也有不同程度增加, 增加了农业面源污染物磷对地下水的污染风险。三个品种土壤速效磷含量: 上层 (0 ~ 20 厘米) > 中层 (20 ~ 40 厘米) > 下层 (40 ~ 60 厘米), 不同品种间比较, 黑玫 > 艳粉 > 超级。

表6 收获时不同养管理对不同玫瑰品种土壤速效磷含量的影响

| 项目 | 处理 | 超级 (克/公斤) | | | 艳粉 (克/公斤) | | | 黑玫 (克/公斤) | | |
|-------------------|----|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| | | 0-20厘米 | 20-40厘米 | 40-60厘米 | 0-20厘米 | 20-40厘米 | 40-60厘米 | 0-20厘米 | 20-40厘米 | 40-60厘米 |
| 速效磷 (克/公 斤) | P0 | 0.13 | 0.097 | 0.086 | 0.157 | 0.108 | 0.107 | 0.237 | 0.156 | 0.107 |
| | P1 | 0.145 | 0.114 | 0.105 | 0.180 | 0.147 | 0.122 | 0.299 | 0.202 | 0.143 |
| | P2 | 0.153 | 0.116 | 0.108 | 0.192 | 0.155 | 0.143 | 0.315 | 0.216 | 0.155 |
| | P3 | 0.178 | 0.119 | 0.112 | 0.205 | 0.161 | 0.153 | 0.331 | 0.218 | 0.181 |

2.3.2 不同磷水平对不同玫瑰品种植花土壤全磷含量的影响

通过收获当天分三层 (0 ~ 20 厘米, 20 ~ 40 厘米, 40 ~ 60 厘米) 取土, 进行土壤全磷分析测试。结果可以看出, 在配施一定量氮、钾基础上, 不施磷处理土壤全磷含量在 1.789 ~ 2.222 克/公斤之间; 与农民习惯施肥 P3 处理相比, 随着磷用量的减少, 3 个品种各层土壤磷含量均表现出不同程度的降低 (降幅在 0.01% ~ 1.37%), 一定程度上降低了磷在植花土壤中富集的风险。在玫瑰采收时, 由于磷的移动性差, 三个品种土壤全磷含量均表现为上层 (0 ~ 20 厘米) > 中层 (20 ~ 40 厘米) > 下层 (40 ~ 60 厘米)。植花土壤全磷含量, 黑玫 > 艳粉 > 超级。

2.3.3 不同磷水平对不同玫瑰品种收获后植花土壤含磷总量的影响

在试验地不同处理小区相应土层各取环刀土10个测容重，取平均值得土壤容重1.55g/厘米³，利用公式[每亩耕地土重(公斤/亩)=土壤容重(g/厘米³)×667(m²)×10000×20(土层厚度厘米)×土壤含磷量(克/公斤)/1000000]^[10]计算出每亩土地20厘米厚度土层土壤磷总量。结果表明，在滇池湖滨区种植玫瑰5年的大棚植花土地上，经过一季花(3个半月)不同养分管理，在该试验磷肥不同管理水平下，20厘米厚土层土壤含磷总量在369.8~476.6公斤/亩之间。相同处理、相同品种、不同土层土壤磷总量比较：上层(0~20厘米)>中层(20~40厘米)>下层(40~60厘米)；相同处理、相同土层、不同品种土壤含磷总量比较：黑玫>艳粉>超级。0~60厘米土层土壤含磷总量，品种超级、艳粉、黑玫都表现为不施磷处理比基础样亏损，分别亏1.6公斤/亩、1.2公斤/亩和0.7公斤/亩；减磷50%处理比基础样盈余，分别盈余6.3公斤/亩、6.7公斤/亩和7.4公斤/亩；减磷25%处理比基础样分别盈余9.4公斤/亩、9.8公斤/亩和10.8公斤/亩；农民习惯施肥P3处理比基础样盈余最多，分别盈余12.8公斤/亩、13.4公斤/亩和13.9公斤/亩。

表7 收获时不同养分管理对玫瑰土壤磷的影响

| 项目 | 处理 | 超级 | | | 艳粉 | | | 黑玫 | | |
|-------------------------------------|----|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|
| | | 0-20厘米 | 20-40厘米 | 40-60厘米 | 0-20厘米 | 20-40厘米 | 40-60厘米 | 0-20厘米 | 20-40厘米 | 40-60厘米 |
| 土壤全磷 (克/公斤) | P0 | 1.823 | 1.814 | 1.789 | 2.169 | 2.133 | 2.114 | 2.222 | 2.185 | 2.161 |
| | P1 | 1.836 | 1.826 | 1.801 | 2.182 | 2.146 | 2.126 | 2.235 | 2.198 | 2.173 |
| | P2 | 1.841 | 1.831 | 1.806 | 2.188 | 2.151 | 2.130 | 2.241 | 2.203 | 2.178 |
| | P3 | 1.848 | 1.836 | 1.810 | 2.195 | 2.155 | 2.136 | 2.247 | 2.208 | 2.182 |
| | 基 | 1.825 | 1.816 | 1.791 | 2.171 | 2.135 | 2.116 | 2.223 | 2.186 | 2.162 |
| 土壤磷总量 (20厘米 厚度) (公斤/亩) | P0 | 376.9 | 375.0 | 369.8 | 451.4 | 443.9 | 439.9 | 471.3 | 463.5 | 458.4 |
| | P1 | 379.6 | 377.6 | 372.3 | 454.1 | 446.6 | 442.4 | 474.1 | 466.2 | 460.9 |
| | P2 | 380.7 | 378.6 | 373.3 | 455.3 | 447.6 | 443.3 | 475.3 | 467.3 | 462.0 |
| | P3 | 382.1 | 379.6 | 374.3 | 456.8 | 448.5 | 444.5 | 476.6 | 468.3 | 462.8 |
| | 基 | 377.4 | 375.5 | 370.3 | 451.8 | 444.3 | 440.3 | 471.5 | 463.7 | 458.6 |
| 土壤磷总量 比基础样增 减(20厘米) (公斤/亩) | P0 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.4 | -0.4 | -0.4 | -0.2 | -0.2 | -0.2 |
| | P1 | 2.2 | 2.1 | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 2.1 | 2.6 | 2.5 | 2.3 |
| | P2 | 3.3 | 3.1 | 3.0 | 3.5 | 3.3 | 3.0 | 3.8 | 3.6 | 3.4 |
| | P3 | 4.7 | 4.1 | 4.0 | 5.0 | 4.2 | 4.2 | 5.1 | 4.6 | 4.2 |
| 0~60厘 米土层土壤 磷总量亏盈 (公斤/亩) | P0 | | -1.6 | | | -1.2 | | | -0.7 | |
| | P1 | | 6.3 | | | 6.7 | | | 7.4 | |
| | P2 | | 9.4 | | | 9.8 | | | 10.8 | |
| | P3 | | 12.8 | | | 13.4 | | | 13.9 | |

2.4 不同养分管理对地下水磷含量的影响

样品采收期同时取地下水测定水溶性总磷和总磷含量，结果(表8)显示：三个品种地下水水溶性总磷，黑玫>超级>艳粉，最高达到1.846毫克/升；总磷为黑玫>艳粉>超级，黑玫最高可达4.112毫克/升。三个品种地下水水溶性总磷、总磷含量都随磷施用量增加而增加，地下水可溶性总磷占总磷比例艳粉明显低于超级和黑玫。

表8 不同品种、不同养管理对花地地下水磷含量的影响

| 处理 | 水溶性总磷 (毫克/升) | | | 总磷 (毫克/升) | | |
|----|--------------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| | 超级 | 艳粉 | 黑玫 | 超级 | 艳粉 | 黑玫 |
| P0 | 0.508 | 0.097 | 1.271 | 1.251 | 1.277 | 2.387 |
| P1 | 0.542 | 0.162 | 1.432 | 1.369 | 1.716 | 3.484 |
| P2 | 0.798 | 0.235 | 1.548 | 1.433 | 1.854 | 3.826 |
| P3 | 0.835 | 0.241 | 1.846 | 1.482 | 1.934 | 4.112 |

3 结论与讨论

在滇池周边玫瑰主栽地区已种植5年玫瑰的土壤上, 减施25%磷肥所有品种玫瑰产量最高、经济效益最好。在氮、钾用量相同的情况下, 三个品种减少磷用量25%处理产量最高, 比农民习惯施肥P3, 分别增0.35%、3%、3.66%; 减磷50%和不施磷处理却出现减产, 减磷50%处理减产0.75%、2.07%、0.79%, 不施磷处理减产18.84%、7.37%和2.52%。三个品种产量比较, 品种超级最高, 艳粉次之, 黑玫最低。从经济效益角度考虑, 三个品种都是减磷25%处理最好, 不施磷处理经济效益都有降低。三个品种经济效益比较, 超级>艳粉>黑玫。

对植株磷含量进行比较, 玫瑰整株、茎叶、根、花吸收带走磷的量均表现为: 超级>艳粉>黑玫; 随着磷用量的增加, 三个品种植株整株、茎叶、根和花吸收磷量均随施磷量增加而增加, 磷用量到15公斤/亩时, 反而下降。玫瑰植株各部位吸收磷量(4个处理平均值)茎叶: 根: 花, 超级为1: 0.92: 0.20, 艳粉是1: 0.96: 0.26, 黑玫1: 0.84: 0.41。

土壤速效磷、全磷含量随着磷肥用量的增加而增加。不同土层比较, 上层(0~20厘米)>中层(20~40厘米)>下层(40~60厘米); 不同品种间比较, 黑玫>艳粉>超级; 对不同土层土壤含磷总量进行计算, 在磷素不同养管理水平下, 20厘米厚土层土壤含磷总量在369.8~476.6公斤/亩之间。不同土层比较, 上层(0~20厘米)>中层(20~40厘米)>下层(40~60厘米); 不同品种比较, 黑玫>艳粉>超级。0~60厘米土层土壤含磷总量, 超级、艳粉、黑玫三个品种都表现为不施磷处理比基础样亏损, 分别亏1.6公斤/亩、1.2公斤/亩和0.7公斤/亩; 减磷50%处理比基础样盈余, 分别盈余6.3公斤/亩、6.7公斤/亩和7.4公斤/亩; 减磷25%处理比基础样分别盈9.4公斤/亩、9.8公斤/亩和10.8公斤/亩; 农民习惯施肥P3处理比基础样盈余最多, 分别盈余12.8公斤/亩、13.4公斤/亩和13.9公斤/亩。

各处理地下水总磷表现为黑玫>艳粉>超级, 三个品种地下水水溶性总磷、总磷含量都随磷施用量增加而增加。

综上所述, 从产量、经济效益、植株带走的磷、土壤磷盈亏、对地下水磷污染风险等方面综合考虑, 该试验条件下推荐磷高效、环境友好型玫瑰种植品种为超级, 推荐施肥量为农民习惯施肥减磷25%, 施磷量为11.25公斤/亩。

参考文献:

- [1] 陆轶峰, 李宗逊, 雷宝坤. 滇池流域农田氮、磷肥施用现状与评价[J]. 云南环境科学, 2003, (3), 34-37
- [2] 高明, 杨浩. 滇池流域斗南不同土地利用下土壤养分的分布及其对环境的影响[J]. 安徽农业

科学, 2006, 34(23):6255-6257,6259

[3] 段永蕙,张乃明. 滇池流域农村面源污染状况分析[J]. 环境保护, 2003, (7). 28-30

[4] 张乃明,李成学,李阳红. 滇池流域土壤磷累积特征与释放风险研究[J]. 土壤, 2007, 39(4):665-667

[5] 黎明,刘德启,沈颂东,袁雯,姜海燕,蔡晔. 国内富营养化湖泊生态修复技术研究进展[J]. 水土保持研究, 2007,14(5):350-352,355

[6] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社.2000

[7] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京:中国农业出版社.2005

[8] 李酉开. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京:科学出版社.2005

[9] 魏复盛. 水和废水监测分析方法(第四版)[M]. 北京:中国环境科学出版社.2002

[10] 朱祖祥. 土壤学[M]. 北京:农业出版社.1982

上接21页

[9] 吕丽华,陶洪斌,王璞,等. 施氮量对夏玉米碳、氮代谢和氮利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4): 630-637.

[10] 夏来坤,陶洪斌,许学彬,等. 不同施氮时期对夏玉米干物质积累及氮肥利用的影响[J]. 玉米科学, 2009, 17(5): 138-140, 144.

[11] 谢瑞芝,李潮海,周苏玫,等. 超高产夏玉米生长机制研究[J]. 河南农业大学学报, 1999, 33(1): 11-16.

[12] 东先旺,刘树堂. 夏玉米超高产群体光合特性的研究[J]. 华北农学报, 1999, 14(2): 1-5.

[13] 黄振喜,王永军,王空军,等. 产量15000 kg·ha⁻¹以上夏玉米灌浆期间的光合特性[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1898-1906.

[14] 李潮海,苏新宏,谢瑞芝,等. 超高产栽培条件下夏玉米产量与气候生态条件关系研究[J]. 中国农业科学, 2001, 34(3): 311-316.

[15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000: 30-33, 56-57, 81-83, 106-107.