

# 不同装土量对玉米植株·根系·籽粒养分浓度及化学计量比的影响

杨有德<sup>1,2</sup>, 李月芬<sup>1</sup>, 赵兰坡<sup>2\*</sup>, 徐倩<sup>1</sup>, 孙超<sup>1</sup>, 施宪<sup>1</sup>

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130061; 2. 吉林农业大学资源与环境学院, 吉林长春 130118)

**摘要** [目的] 研究不同装土量对苗期、抽雄期和成熟期玉米植株、根系和籽粒中氮、磷含量以及氮磷比的影响。[方法] 采用室外盆栽模拟试验。[结果] 玉米植株: 从苗期到成熟期, 氮、磷浓度呈下降趋势; 苗期磷浓度有随装土量增加而增加的趋势; 无论施肥与否, 同一时期基本呈现随装土量增加, 氮: 磷比值呈下降的趋势, 氮供应相对不足。玉米根系: 从苗期到成熟期, 氮浓度呈下降趋势, 而且随着装土量的增加氮浓度呈下降趋势; 苗期磷浓度较高, 装土量不同磷浓度相差不大, 抽雄期和成熟期磷浓度均为轻度或重度缺磷; 苗期氮: 磷比值皆下降, 而抽雄期有上升的趋势。玉米籽粒: 施肥玉米随装土量增加氮浓度呈下降趋势; 磷浓度差别不大, 基本呈现随装土量增加, 籽粒磷浓度呈下降的趋势; 装土量不同, 玉米籽粒中氮: 磷比值也有差异。[结论] 松辽平原玉米带黑土区现行耕作制度下产生的 2 种不同的剖面构型“波浪型”和“平面型”导致有效土量差异, 是导致黑土肥力退化的主要原因之一。

**关键词** 现行耕作制; 不同装土量; 氮浓度; 磷浓度; 化学计量比

中图分类号 S158.3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)22-10456-05

## Effects of Different Soil Amounts on Nutrients Concentration and Stoichiometry of Maize Plant, Root and Seed

YANG You-de et al (College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, Jilin 130061)

**Abstract** [Objective] The paper aimed to study the effects of different soil amounts on the nitrogen concentration, phosphorus concentration and N: P stoichiometry of Maize Plant, root and seed in weeding stage, heading stage and maturity stage. [Method] Outdoor pot simulation experiment was adopted. [Result] From seedling stage to maturity, nitrogen and phosphorus concentrations of Maize plants display a downward trend; phosphorus concentrations have increased with increment of packing soil amounts in weeding stage; regardless of fertilization or not, N: P show downward trend with increment of packing soil amounts at the same period, nitrogen takes on the relative shortage. From seedling to maturity, nitrogen concentration of Maize roots takes on a downward trend, nitrogen concentration decreases with increment of packing soil amounts; phosphorus concentration of seedling stage is higher than that of heading stage and maturity stage, phosphorus concentrations is mild or severe deficiency; N: P ratio is decreased in seedling stage, while there is an upward trend in heading stage. Nitrogen concentration of Maize grain is higher in seedling stage; nitrogen concentration and phosphorus concentration of Maize grain after fertilization take on downward trend with increment of packing soil amounts; N: P ratio is different under different packing soil amounts. [Conclusion] Different effective soil amount resulting from "wave type" and "flat type" under the current cultivation system is one of the main reasons that causes fertility degradation of the black soil in Song-liao Plain maize belt.

**Key words** Current cultivation system; Different soil amounts; Nitrogen concentration; Phosphorus concentration; Stoichiometry

松辽平原玉米带是国家重要玉米生产、出口基地。黑土是玉米带最主要的土壤类型<sup>[1]</sup>。松辽平原的黑土已全部开垦为农田, 玉米连作现象普遍, 近年来, 随着黑土开垦和玉米连作年限的增长, 肥力退化问题日益突出<sup>[2-4]</sup>。从 2002 年起, 赵兰坡等对松辽平原玉米带连作玉米黑土的耕作制度和土壤肥力现状进行了调查, 发现由于不同的耕作制度, 形成 2 种模式的剖面构造类型——“波浪型”和“平面型”。“波浪型”剖面耕层较薄, 最深处一般仅为 15~20 cm, 而“平面型”剖面耕层深厚, 一般可达 28~35 cm<sup>[4-5]</sup>。为此, 笔者根据现行耕作制度下产生的这 2 种剖面构型引起的有效土量不同的特点, 设计了不同装土量的模拟盆栽试验, 旨在探讨其对玉米植株·根系以及籽粒中氮磷养分含量及氮磷比的影响。

## 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 供试土壤: 吉林农业大学试验站中等肥力的玉米连作黑土, 其理化性质为: pH 值 6.74, 有机质 32.50 g/kg, 全氮 1.40 g/kg, 全磷 0.57 g/kg, 碱解氮 125.00 mg/kg, 速效磷 26.40 mg/kg。

供试玉米品种: 吉单 209, 属早熟品种, 成熟期 125 d。

**1.2 试验设计** 以现行的耕作施肥制度为背景, 设计了不同装土量对盆栽玉米植株养分含量影响的模拟试验。试验共设置 6 个处理(表 1), 每个处理重复 9 次, 随机排列, 分 3

次取样, 同一处理每次取 3 盆。

施肥处理采用大田常规施肥量, 即按每公顷施用化肥 600 kg, 其中, 氮、磷肥比为 3:2, 即尿素 300 kg, 磷酸二铵 200 kg。采用一次性施肥制, 即将氮肥、磷肥一次性作底肥施入。通过计算得出常规大田每公斤土应施化肥量。现行耕作制度下, 无论是“波浪型”犁底层, 还是“平面型”犁底层, 虽然装土量差异较大, 但施肥量是一致的, 而且盆栽试验施肥量应是大田的 2~3 倍。所以, 该试验以 10 kg 土为基准进行计算得出每盆应施化肥量: 尿素 3 g, 磷酸二铵 2 g, 将化肥与土壤充分混和后装盆。

盆钵为塑料桶, 底部无孔, 以防止土壤养分随水流失。装盆方法: 首先, 在塑料桶底部铺垫 1.5 kg 洗净的碎石, 以防止在水分过量时盆底根系淹水, 造成根系呼吸困难, 然后装入经与肥料充分混匀的风干土, 最后, 在土层上均匀地覆盖上 1 kg 洗净的细沙, 以防止因太阳暴晒造成表层土壤干裂和浇水时土壤飞溅。浇水方法: 第 1 次浇水按土壤重量使其达到土壤饱和含水量, 以后根据天气情况及土壤干湿度补水。

玉米种子经催芽后于 2004 年 5 月 24 日播种, 每盆播种 3 粒, 2004 年 5 月 26 日开始出苗。1 周后进行定植。因为苗期的玉米生长时间比较短, 为避免个体差异过大, 苗期取样的 18 盆定植 2 株, 抽雄期和成熟期取样的定植 1 株。2004 年 6 月 5 日以前盆钵放于培养场的玻璃室内, 以提高土壤温度, 促进玉米生长; 2004 年 6 月 5 日开始, 除阴雨天外盆钵放在网室内培养, 2004 年 9 月开始为促进玉米成熟, 晚上放入玻璃室内, 白天放在网室内。

**基金项目** 国家自然科学基金项目(30370846); 吉林省科技厅重点项目(20040204-1-1); 国家粮食丰产工程项目(2004BA520A09)。

**作者简介** 杨有德(1975-), 男, 吉林长岭人, 在读博士, 初级实验员, 从事土壤生态环境研究。\* 通讯作者。

**收稿日期** 2009-04-13

表 1 不同装土量对盆栽玉米养分吸收量的影响模拟试验

Table 1 The simulation experiment about effects of different soil amounts on the nutrients uptake quantity of potted maize

处理 Treatment	装土量//kg/盆 Soil amount	施肥情况 Fertilization situation	符号表示 Symbol representation	第 1 次取样 First sampling	第 2 次取样 Second sampling	第 3 次取样 Third sampling
1	5	不施肥	NF5	fNF5	sNF5	tNF5
2	10	不施肥	NF10	fNF10	sNF10	tNF10
3	15	不施肥	NF15	fNF15	sNF15	tNF15
4	5	施肥	F5	fF5	sF5	tF5
5	10	施肥	F10	fF10	sF10	tF10
6	15	施肥	F15	fF15	sF15	tF15

注:①NF 代表不施肥;F 代表施肥;NF5、NF10、NF15 分别代表不施肥 5 kg 土、不施肥 10 kg 土、不施肥 15 kg 土;F5、F10、F15 分别代表施肥 5 kg 土、10 kg 土、15 kg 土。②f(first)代表第 1 次取样(苗期);s(second)代表第 2 次取样(抽雄期);t(third)代表第 3 次取样(成熟期)。③施肥处理中施肥量均为每盆施尿素 3 g,磷酸二铵 2 g。

Note: ① NF. No fertilization; F. Fertilization; NF5, NF10, NF15 stands for no fertilization 5 kg, 10 kg, 15 kg respectively; F5, F10, F15 stands for fertilization 5 kg, 10 kg, 15 kg respectively. ② f. First sampling (seedling stage); s. Second sampling (Tasseling stage); t. Third sampling (Maturing stage); w. Whole growth period. ③Fertilizer amount is urea 3 g, diammonium phosphate 2 g per pot.

### 1.3 测定方法

**1.3.1 土壤理化指标测定。**土壤 pH 值采用电位法测定<sup>[6]</sup>;土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法-外加热法测定<sup>[7]</sup>;土壤速效氮含量采用碱解扩散法测定;速效磷含量采用 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 浸提-钼锑抗比色法测定<sup>[7]</sup>;土壤全氮含量采用半微量凯氏消煮法测定<sup>[8]</sup>;全磷含量采用 HClO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 法测定<sup>[7]</sup>。

**1.3.2 植株养分测定方法。**植株全氮含量采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-扩散法测定;全磷含量采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮,钒钼黄比色法测定<sup>[7]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同装土量对玉米植株养分浓度及其化学计量比的影响

**2.1.1 对氮浓度的影响。**氮素是植物生长的重要营养元素之一,通过测定植物氮素含量可以了解植物从土壤获取氮素的数量。从图 1、2 可以看出,玉米苗期各处理植株中氮浓度均较高。对不施肥处理来说,tNF10 和 tNF15 的玉米植株氮浓度分别为 14.5、14.4 g/kg,由于其装土量较 fNF5 多,供肥能力较强,能够为玉米提供较多的氮肥,所以,植株氮浓度较高;而 fNF5 由于装土量少,不能为玉米生长提供充足的氮素营养供玉米生长需要,所以,植株氮浓度较低,仅为 13.3 g/kg。对施肥处理来说,由于每个处理施肥量相同,而其装土量不同,装土量少的处理化肥浓度较高,一方面有利于玉米对氮肥的吸收,另一方面由于土壤溶液浓度高而导致玉米烧苗,生长缓慢,植株矮小,单位重量的植株含氮量较高,所以 fF5 的玉米植株氮浓度最高,为 16.4 g/kg;fF10 和 fF15 玉米植株氮浓度相同,均为 15.5 g/kg。施肥与不施肥处理比较,施肥处理的氮浓度均高于不施肥处理。

抽雄期各处理的玉米植株氮浓度较苗期均有大幅下降,sNF15 氮浓度最低,仅为 3.38 g/kg,主要原因可能是其玉米长势明显好于 sNF10 和 sNF5 处理,所以,单位重量的植株氮浓度相对较低。施肥各处理玉米植株氮浓度均较不施肥处理植株氮浓度高,施肥 sF5 和 sF10 氮浓度较高为 6 g/kg。玉米植株氮浓度较苗期均有大幅度下降,降幅最小的 sF10 仍在 60% 以上。

成熟期,玉米植株氮浓度较抽雄期均有大幅下降,其中,

tNF5 植株氮浓度最低,仅为 1.43 g/kg,tNF10 植株氮浓度与之相近,而 tNF15 氮浓度相对较高,主要原因可能是前两者装土量少,不能满足作物生长需要导致后期玉米早衰而脱肥,使植株氮浓度大幅下降。对施肥处理而言,tF10 和 tF15 玉米植株氮浓度相对较低,而 tF5 的玉米植株氮浓度最高,主要原因可能是 5 kg 土玉米较矮小,相对含氮量较高。

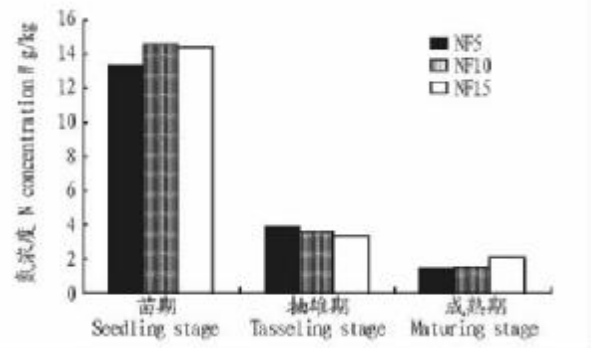


图 1 不同装土量在不施肥情况下对植株氮浓度的影响

Fig. 1 The effect of different soil amounts on N concentration of plants without fertilization

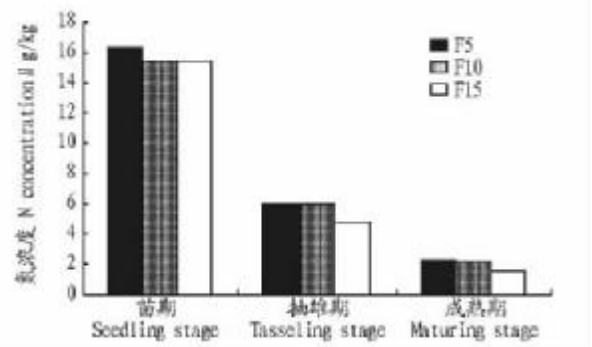


图 2 不同装土量在施肥情况下对植株氮浓度的影响

Fig. 2 The effect of different soil amounts on N concentration of plants with fertilization

**2.1.2 对磷浓度的影响。**磷是植物营养的三要素之一,一般认为,植株磷含量:<1.50~2.00 g/kg 为缺乏,2.00~5.00 g/kg 为正常,玉米(抽雄期,穗轴下第一叶片)磷含量:<1.00 g/kg 为严重缺乏,1.50~2.40 g/kg 为轻度缺乏,2.50~4.00 g/kg 为正常<sup>[9]</sup>。从图 3、4 可以看出,苗期玉米植株磷浓度均

较高,在正常值范围内(2.37~3.44 g/kg),不施肥和施肥处理玉米植株磷浓度都随装土量增加而增加;施肥处理的玉米植株磷浓度高于不施肥处理,表明装土量越多,土壤供磷能力越强,玉米植株磷浓度越高,而且施肥亦能增加玉米植株磷浓度。这说明装土量及施肥均对玉米植株磷浓度有较大的影响,装土量增加和施肥都能增加玉米植株中磷浓度。

抽雄期,玉米植株磷浓度较苗期磷浓度有大幅度降低,只有 sF15 的玉米植株磷浓度在正常值范围内,其余各处理玉米植株磷浓度均低于正常值(1.55~2.17 g/kg),表现为轻度缺磷。施肥与不施肥各处理玉米植株磷浓度均随装土量增加而增加,且各处理玉米植株磷浓度相差不大,主要原因可能是施肥处理的玉米植株长势要明显好于不施肥处理,所以单位重量的植株磷浓度与不施肥处理相差不大。然而,无论施肥还是不施肥处理,5 kg 土和 15 kg 土差异均较大,说明装土量对玉米植株磷浓度有较大的影响。由此可见,装土量多供肥能力明显增强。装土量对玉米抽雄期植株磷浓度有较大的影响,装土量多能提高玉米植株磷浓度。

成熟期,玉米植株磷浓度较抽雄期下降均较明显,且均表现为严重缺磷(0.45~1.10 g/kg)。对不施肥处理来说,虽然 tNF15 装土量多,能够为作物提供的肥料较多,但由于 tNF15 的玉米长势明显好于 tNF5,所以植株单位重量磷浓度较 tNF5 低。就施肥处理而言,由于各处理的玉米植株比不施肥处理的长势好,所以其玉米单位重量植株磷浓度相对较低。

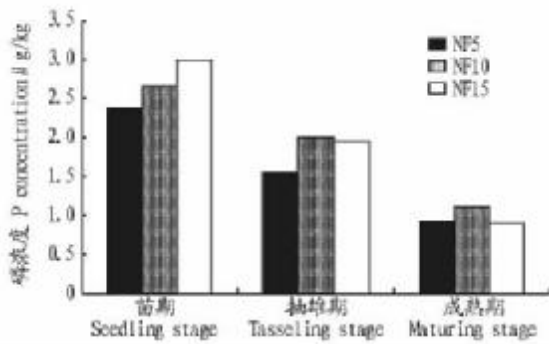


图3 不同装土量在不施肥情况下对植株磷浓度的影响

Fig.3 The effect of different soil amounts on P concentration of plants without fertilization

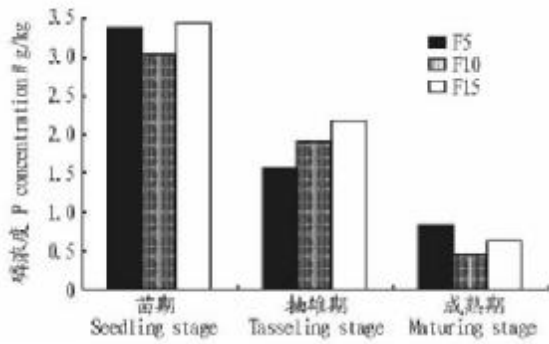


图4 不同装土量在施肥情况下对植株磷浓度的影响

Fig.4 The effect of different soil amounts on P concentration of plants with fertilization

2.1.3 对氮:磷比值的影响。植物的氮:磷化学计量比反映

土壤对植物生长的养分供应状况<sup>[9]</sup>,高氮:磷比值可能意味着磷限制,低氮:磷比值也有可能意味着氮限制。从图5、6可以看出,无论施肥与否,同一时期取样,基本呈现出随着装土量的增加,氮:磷比值呈下降的趋势,表现出氮供应相对不足。但同一时期同一装土量情况下,施肥与不施肥处理相比,除了苗期 tF5 的氮:磷比值明显低于 tNF5, tF10 的氮:磷比值明显低于 tNF10, tF15 的氮:磷比值明显低于 tNF15 外,抽雄期和成熟期皆呈现出相反趋势,表明在苗期施肥比不施肥玉米长势要好,表现出氮供应相对不足,但到玉米生长后期,无论施肥与否,皆表现出氮限制,但与不施肥玉米相比,施肥玉米即使施用磷肥,仍然表现出对磷的需求不足。

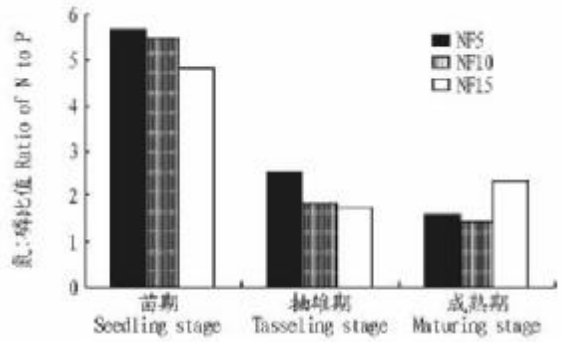


图5 不同装土量在不施肥情况下对植株氮:磷比值的影响

Fig.5 The effect of different soil amounts on ratio of N to P of plants without fertilization

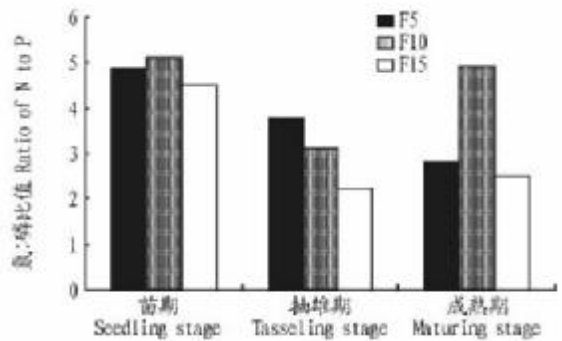


图6 不同装土量在施肥情况下对植株氮:磷比值的影响

Fig.6 The effect of different soil amounts on ratio of N to P of plants with fertilization

2.2 不同装土量对玉米根系养分浓度及其化学计量比的影响

2.2.1 对氮浓度的影响。从图7、8可以看出,无论施肥与否,玉米苗期根系氮浓度比抽雄期和成熟期高。苗期不施肥玉米根系氮浓度差别不大。装土量多的玉米根系氮浓度略有下降, tNF10 和 tNF15 玉米根系氮浓度最低(6.20 g/kg)。而施肥处理中 tF10 的玉米根系氮浓度最低(7.47 g/kg)。施肥较不施肥处理的玉米根系氮浓度增长幅度在20%以上,说明施肥能明显增加玉米根系氮浓度,有利于氮素的积累。抽雄期,无论施肥与否,玉米根系氮浓度较苗期大幅下降,均不到苗期的50%,而且根系氮浓度均随装土量增加呈下降的趋势。成熟期,玉米根系氮浓度与抽雄期相比均有所降低。tNF 中,玉米根系氮浓度随装土量的增加而下降,其中, tNF15 的氮浓度最低(1.56 g/kg); tF 中, tF10 的玉米根系氮浓度最高(2.98 g/kg)。

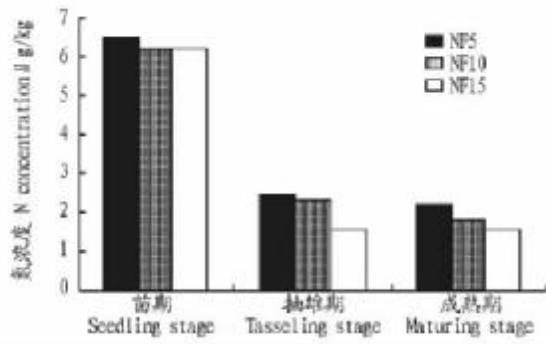


图 7 不同装土量在不施肥情况下对根系氮浓度的影响

Fig. 7 The effect of different soil amounts on N concentration of roots without fertilization

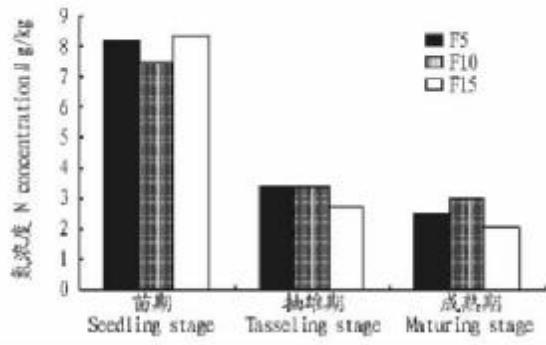


图 8 不同装土量在施肥情况下对根系氮浓度的影响

Fig. 8 The effect of different soil amounts on N concentration of roots with fertilization

2.2.2 对磷浓度的影响。从图 9、10 可以看出,苗期玉米根系磷浓度较高。在 fNF 条件下,玉米根系磷浓度相差不大, fNF10 略低;在 fF 条件下,玉米根系磷浓度相差较大,且有随装土量增加而降低的趋势,因为磷在土壤中的扩散系数很小(约为  $1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ ),移动性小,植物根系仅能吸收距根表面 1~4 mm 根际土壤中的磷<sup>[10]</sup>。fF5 根系磷浓度最高,可能是因为各处理施肥量相同,装土量少的土壤磷素浓度高,磷素易被根系吸收。抽雄期和成熟期玉米根系磷浓度均低于 1.00 g/kg,表现为轻度或重度缺磷。

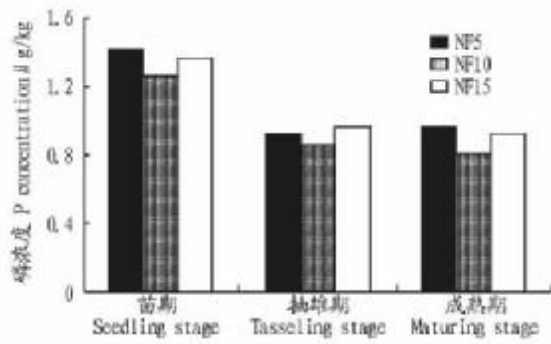


图 9 不同装土量在不施肥情况下对根系磷浓度的影响

Fig. 9 The effect of different soil amounts on P concentration of roots without fertilization

2.2.3 对氮:磷比值的影响。从图 11、12 可以看出,与植株氮:磷比值相比较,无论施肥与否,苗期根系氮:磷比值皆下降,抽雄期除了 tNF15 外,皆呈上升的趋势,成熟期 fNF5、sNF10、fF5 也具有类似的趋势。另外,在装土量相同的情况

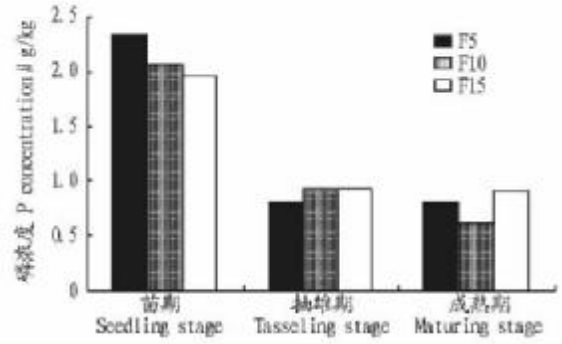


图 10 不同装土量在施肥情况下对根系磷浓度的影响

Fig. 10 The effect of different soil amounts on P concentration of roots with fertilization

下,苗期玉米根系氮:磷比值施肥玉米要低于不施肥玉米,但到抽雄期和成熟期,施肥玉米根系氮:磷比值要高于不施肥玉米。在玉米整个生长期,无论施肥与否,基本呈现出 10 kg 土的根系氮:磷比值较高。总之,装土量和施肥对根系的氮:磷比值有较明显的影响,表现出氮和磷对玉米生长有不同程度的限制作用。

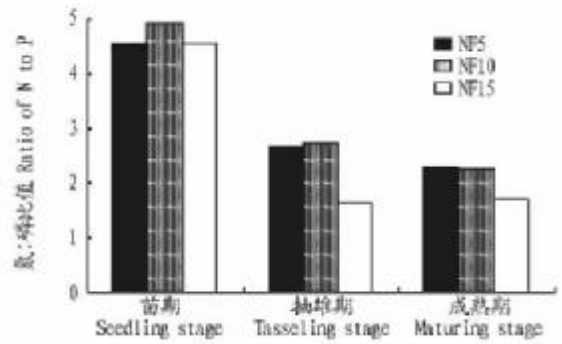


图 11 不同装土量在不施肥情况下对根系氮:磷比值的影响

Fig. 11 The effect of different soil amounts on ratio of N to P of roots without fertilization

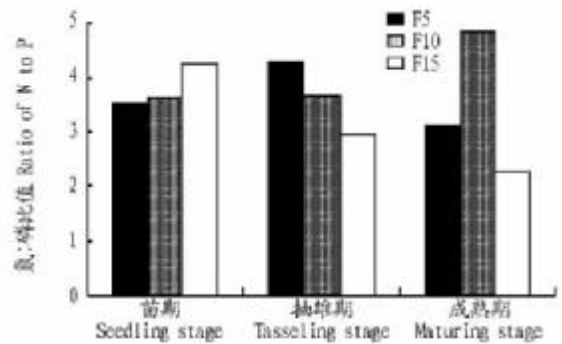


图 12 不同装土量在施肥情况下对根系氮:磷比值的影响

Fig. 12 The effect of different soil amounts on ratio of N to P of roots with fertilization

2.3 不同装土量对玉米籽粒养分浓度及其化学计量比的影响

2.3.1 对氮浓度的影响。从图 13 可以看出, tNF5 玉米籽粒氮浓度最高,为 12.10 g/kg, tNF10 氮浓度最低,仅为 6.50 g/kg。tNF5 的玉米籽粒数特别少,而 tNF10 的玉米籽粒数比 tNF5 增加了 235%,所以 tNF5 玉米籽粒氮浓度相对较高,而 tNF10 玉米籽粒氮浓度相对较低。同理,施肥玉米随装土量

增加,籽粒氮浓度呈下降趋势。

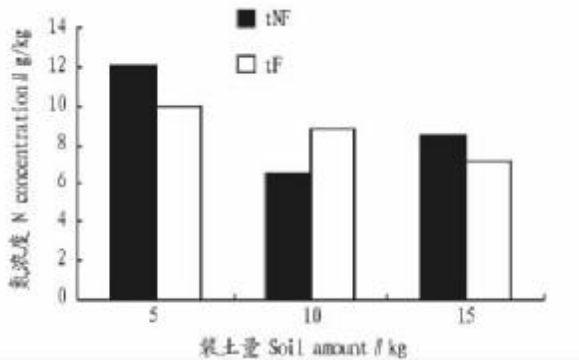


图 13 不同装土量对玉米籽粒氮浓度的影响

Fig. 13 The effect of different soil amounts on N concentration of maize seeds

2.3.2 对磷浓度的影响。从图 14 可以看出,玉米籽粒的磷浓度差别不大,无论施肥与否,基本呈现随装土量的增加,籽粒磷浓度呈现下降的趋势,而且皆以 10 kg 土为最低。其中, tNF5 玉米籽粒磷浓度最高,为 4.60 g/kg, tF10 玉米籽粒磷浓度最低,为 3.40 g/kg。这可能是玉米产量过低,磷素在为数不多的籽粒中累积引起的。

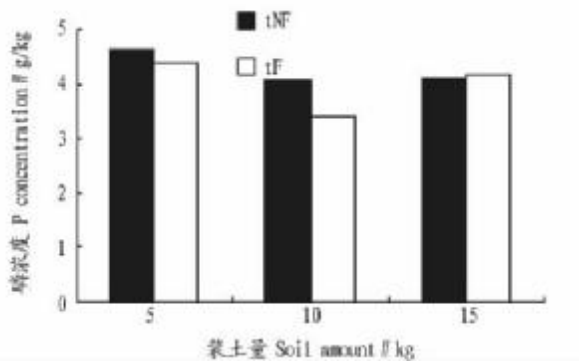


图 14 不同装土量对玉米籽粒磷浓度的影响

Fig. 14 The effect of different soil amounts on P concentration of maize seeds

2.3.3 对氮:磷比值的影响。从图 15 可以看出,装土量不同,玉米籽粒中氮:磷比值有差异, tNF5 > tNF15 > tNF10,而在施肥的情况下表现出不同的趋势,即 tF10 > tF5 > tF15。因此,不同装土量,从植株、根系和籽粒的氮:磷比值变化可以看出植物营养氮和磷在植物体内的迁移转化过程。

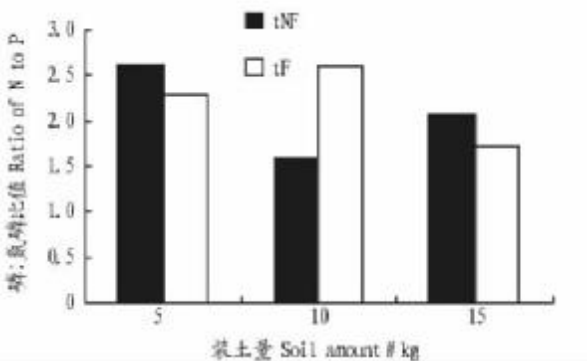


图 15 不同装土量对玉米籽粒氮:磷比的影响

Fig. 15 The effect of different soil amounts on ratio of N to P of maize seeds

### 3 结论与讨论

(1)不同装土量对玉米植株养分浓度及其化学计量比的影响。玉米植株苗期氮浓度均较高,其中, fNF10(14.50 g/kg) > fNF15(14.40 g/kg) > fNF5(13.30 g/kg),而 fF5(16.40 g/kg) > fF10(15.50 g/kg) = fF15(15.50 g/kg);抽雄期氮浓度均有大幅下降, sNF15 氮浓度最低(3.38 g/kg), sF5 和 sF10 氮浓度较高(6.00 g/kg)。成熟期氮浓度最低, tNF5 仅 1.43 g/kg, tNF10(1.56 g/kg) 与之相近,而 tNF15 相对较高(2.08 g/kg)。 tF5(2.34 g/kg) 氮浓度最高,而 tF10(2.21 g/kg) 和 tF15(1.56 g/kg) 氮浓度相对较低。苗期磷浓度均较高,在正常值范围内(2.37 ~ 3.44 g/kg),且有随装土量增加而增加的趋势,施肥植株磷浓度高于不施肥。抽雄期磷浓度较苗期大幅降低,几乎都低于正常值(1.55 ~ 2.17 g/kg),轻度缺磷。成熟期,均表现为严重缺磷(0.45 ~ 1.10 g/kg)。无论施肥与否,同一时期基本呈现出随装土量的增加,氮:磷比值呈下降的趋势,表现出氮供应相对不足。但同一时期同一装土量情况下,苗期施肥比不施肥玉米长势要好,表现出氮供应相对不足,但到生长后期,无论施肥与否,皆表现出氮限制,但与不施肥玉米相比,施肥玉米即使施用磷肥,仍然表现出对磷的需求不足。

(2)不同装土量对玉米根系养分浓度及其化学计量比的影响。玉米苗期根系氮浓度最高,不施肥氮浓度差别不大, fNF15 最低(6.20 g/kg),而施肥处理中 fF10 最低(7.47 g/kg);抽雄期氮浓度大幅下降,均不到苗期的 50%,且均随装土量增加呈下降趋势;成熟期,氮浓度最低。苗期磷浓度较高,在 tNF 条件下,装土量不同磷浓度相差不大, fNF10 略低(1.26 g/kg);在 fF 条件下,装土量不同磷浓度相差较大,且有随装土量增加而降低的趋势,其中, fF5 最高(2.32 g/kg)。抽雄期和成熟期玉米根系磷浓度均低于 1.00 g/kg,表现为轻度或重度缺磷。与植株氮:磷比值相比较,无论施肥与否,苗期氮:磷比值皆下降,而抽雄期有上升的趋势,成熟期 fNF5、sNF10、fF5 也具有类似趋势。另外,在苗期氮:磷比值在装土量相同的情况下施肥玉米要低于不施肥玉米,但到抽雄期和成熟期,施肥玉米氮:磷比值要高于不施肥玉米。在整个生长期,无论施肥与否,基本呈现出 10 kg 土的根系氮:磷比值较高。

(3)不同装土量对玉米籽粒养分浓度及其化学计量比的影响。 tNF5 玉米籽粒氮浓度最高(12.10 g/kg), tNF10 最低(6.53 g/kg);施肥玉米随装土量增加,籽粒氮浓度呈下降趋势,即 tF5(9.96 g/kg) > tF10(8.80 g/kg) > tF15(7.15 g/kg)。玉米籽粒的磷浓度差别不大,无论施肥与否,基本呈现随装土量的增加,籽粒磷浓度呈现下降的趋势,即 tNF5(4.64 g/kg) > tNF15(4.12 g/kg) > tNF10(4.09 g/kg), tF5(4.37 g/kg) > tF15(4.18 g/kg) > tF10(3.39 g/kg)。装土量不同,玉米籽粒中氮:磷比值也有差异, tNF5 > tNF15 > tNF10,而在施肥的情况下表现出不同的趋势,即 tF10 > tF5 > tF15。

### 参考文献

[1] 陆继龙. 我国黑土的退化问题及可持续农业[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 53 - 55.

产广西、云南。模式标本采自云南。

**7.2 裂瓣玉凤花**(*Habenaria petelotii* Gagnep.) 地生植物;花期7~9月;生长于海拔700~900 m处。生于林下阴蔽处石沟、石缝腐殖土中。分布于凉水井;贵州产剑河、雷公山、独山;中国产安徽、浙江、江西、福建、湖南、广东、广西、四川、云南。越南有分布。模式标本采自越南(沙坝)。

### 8 舌喙兰属(*Hemipilia* Lindl.)

广西舌喙兰(*Hemipilia kwangsiensis* T. Tang et F. T. Wang ex K. Y. Lang.) 附生植物;花期8月;生长于海拔700~800 m处。生于林下石灰岩石壁上。分布于白鹇山。贵州新记录,仅见于茂兰;中国产广西。模式标本采自广西。

### 9 羊耳蒜属(*Liparis* L. C. Rich.)

**9.1 心叶羊耳蒜**(*Liparis cordifolia* Hook. f.) 地生植物;花期10~12月;生长于海拔600~9 000 m处。生于林下阴蔽处石沟、石缝腐殖土中。分布于凉水井、白鹇山;贵州产独山;中国产台湾、广西和云南。尼泊尔、锡金和印度东北部有分布。模式标本采自尼泊尔。

**9.2 香花羊耳蒜**(*Liparis odorata* (Willd.) Lindl.) 地生植物;花期7月;生长于海拔700 m处。生于林下阴蔽处石沟、石缝腐殖土中。分布于拉威堤;贵州产正安、榕江、兴义;中国产江西、台湾、湖北、湖南、广东、海南、广西、四川、云南、西藏。尼泊尔、锡金、印度、缅甸、老挝、泰国和日本有分布。模式标本采自印度。

**9.3 贵州羊耳蒜**(*Liparis esquirolii* Schltr.) 附生植物;花期5~7月;生长于海拔800 m处。生于林下荫蔽的裸露岩石上。分布于凉水井;贵州产独山、惠水;贵州特有种;模式标本采自贵州惠水。

### 10 钗子股属(*Luisia* Gaud.)

叉唇钗子股(*Luisia teres* (Thunb. Ex A. Murray) Bl.) 附生植物;花期3~5月;生长于海拔800~1 000 m处。生于阳光充裕的山脊、山顶的树干上。分布于洞塘、凉水井;贵州产惠水、兴义;中国产台湾、广西、四川、云南。日本、朝鲜半岛有分布。模式标本采自日本。

### 11 短瓣兰属(*Monomeria* Lindl.)

短瓣兰(*Monomeria barbata* Lindl.) 附生植物;花期1月;生长于海拔750 m处。生于林下荫蔽的裸露岩石上和树干上。分布于计才;贵州产兴义;中国产云南和西藏。锡金、尼泊尔、印度东北部、缅甸、泰国有分布。模式标本尼泊尔。

### 12 鸢尾兰属(*Oberonia* Lindl.)

广西鸢尾兰(*Oberonia kwangsiensis* Seidenf.) 附生植物;花期11月;生长于海拔500~700 m处。生于林下石灰岩石壁上。分布于三岔河、板寨。贵州新记录,仅见于茂兰;中国产广西。越南、泰国有分布。模式标本采自广西。

### 13 羽唇兰属(*Ornithochilus* (Lindl.) Wall. Ex Benth.)

羽唇兰(*Ornithochilus difformis* (Lindl.) Schltr.) 附生植物;花期5~7月;生长于海拔520 m处。生于河边疏林中树干上。分布于三岔河;贵州新记录,仅见于茂兰;中国产广东、香港、广西、四川、云南。热带喜马拉雅经缅甸、老挝、越南、泰国、马来西亚和印度尼西亚有分布。模式标本采自尼泊尔。

### 14 兜兰属(*Paphiopedilum* Pfitz.)

麻栗坡兜兰(*Paphiopedilum malipoense* S. C. Chen et Z. H. Tsi) 附生植物;花期12月;生长于海拔700 m处。生于林下石灰岩积土多石处和岩壁上。分布于计才;贵州产兴义;中国产广西和云南东部。模式标本采自云南。

### 15 石仙桃属(*Pholidota* Lindl. ex Hook.)

**15.1 单叶石仙桃**(*Pholidota leveilleana* Schltr) 附生植物;花期5月;生长于海拔500~900 m处。生于石灰岩悬崖上和林下裸露岩石上。普遍分布于贵州茂兰保护区;贵州产平塘、惠水;中国产广西。模式标本采自贵州。

**15.2 长足石仙桃**(*Pholidota longipes* S. C. Chen et Z. H. Tsi.) 附生植物;花期1~2月;生长于海拔500~600 m处。生于石灰岩林下阴湿岩石上。分布于黄杨沟、拉桥,贵州新记录,仅见于茂兰;中国产云南。模式标本采自云南。

### 16 香荚兰属(*Vanilla* Plumier ex P. Miller.)

越南香荚兰(*Vanilla annamica* Gagnep.) 附生植物;花期4月;生长于海拔550 m处。生于林下石灰岩石壁上。分布于三岔河;贵州产兴义、罗甸。越南有分布。模式标本采自贵州。

### 参考文献

- [1] 魏鲁明,陈正仁,张从贵. 茂兰兰科植物的区系特点和生态分布[M]//朱守谦. 喀斯特森林生态研究(II). 贵阳:贵州科技出版社,1997:173-181.
- [2] 郎楷永,陈心启,罗毅波,等. 中国植物志(第17卷)[M]. 北京:科学出版社,1999:281.
- [3] 陈心启,吉占和,郎楷永,等. 中国植物志(第18卷)[M]. 北京:科学出版社,1999:141-142,301-302,323,396-397.
- [4] 吉占和,陈心启,罗毅波,等. 中国植物志(第19卷)[M]. 北京:科学出版社,1999:209,284-285,320-321,347.
- [5] 陈谦海. 贵州植物志(第10卷)[M]. 贵阳:贵州科技出版社,2004:310-566.
- [6] 邓朝义,卢永成. 贵州兰科植物新记录II[J]. 贵州林业科技,2002,30(1):33-36.
- [7] 金效华,吉占和,覃海宁,等. 贵州兰科植物增补[J]. 植物分类学报,2002,40(1):82-88.
- [8] 张玉武. 贵州梵净山国家级自然保护区兰科植物[J]. 贵州科学,2007,25(1):43-53.
- [9] SEIDENFADEN G. The Orchids of Indochina[J]. Opera Botanica,1992,114:26-317.
- [10] SEIDENFADEN G. Orchid Genera in Thailand VIII[J]. Bulbophyllum Thou. Dansk Botanisk Arkiv,1979,33(3):80-82.
- [11] SEIDENFADEN G. Notes on Cirrhopetalum Lindl[J]. Dansk Botanisk Arkiv,1973,29(1):7-260.
- [12] KING G, PANTLING R. The Orchids of Sinkim-Himalaya[J]. Annals of the Royal Botanic Garden Calcutta,1898,8:67-96.

(上接第10460页)

- [2] 孟凯,张兴义,隋跃宇,等. 东北北部农田黑土障碍因子调控措施试验[J]. 农业系统科学与综合研究,2003,19(1):43-47.
- [3] 孟凯,张兴义. 松嫩平原黑土退化的机理及其生态复原[J]. 土壤通报,1998,29(3):100-102.
- [4] 赵兰坡,王鸿斌,刘会青,等. 松辽平原玉米带黑土肥力退化机理研究[J]. 土壤学报,2006,43(1):79-84.
- [5] 王鸿斌,赵兰坡. 不同耕作制度对土壤渗透性和玉米生长的影响研究[J]. 水土保持学报,2005,19(6):197-200.

- [6] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:科学出版社,1983:75-145.
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000:30-271.
- [8] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 2版. 北京:农业出版社,1986:40-64.
- [9] 陈伏生,胡小飞,葛刚. 城市地被植物麦冬叶片氮磷化学计量比和养分再吸收效率[J]. 草业学报,2007,16(4):47-54.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2000:312-312.