



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115950943 A

(43) 申请公布日 2023.04.11

(21) 申请号 202310057025.4

(22) 申请日 2023.01.18

(71) 申请人 中国科学院地球化学研究所

地址 550081 贵州省贵阳市观山湖区林城西路99号

(72) 发明人 吴沿友 张开艳 李海涛 张富荣
苏跃 吕家美

(74) 专利代理机构 贵阳中新专利商标事务所
52100

专利代理师 张行超

(51) Int. Cl.

G01N 27/62 (2021.01)

G01N 5/00 (2006.01)

权利要求书2页 说明书14页

(54) 发明名称

一种评估木本植物硝酸盐供需关系及硝酸盐同化产物分配的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种评估木本植物硝酸盐供需关系及硝酸盐同化产物分配的方法,将木本植物幼苗种植在只含硝态氮的营养液中,测定实验前后木本植物幼苗叶、茎和根的干重、氮含量和稳定氮同位素值,计算整个植株尺度的稳定氮同位素值,获得实验处理期间的硝态氮同化产物的稳定氮同位素值,计算出木本植物同化硝态氮的稳定氮同位素分馏值,据此评估木本植物的硝酸盐供需关系;根据同位素质量平衡模型计算叶、茎和根的硝态氮同化产物的稳定同位素值,根据两端元同位素混合模型计算出新增茎氮的来源,计算出叶片和根部的氮同化总量。本发明能够定量评估木本植物硝酸盐供需关系和硝酸盐同化能力,填补了硝态氮作为唯一氮源条件下不能精准施肥的空白。

1. 一种评估木本植物硝酸盐供需关系及硝酸盐同化产物分配的方法,其特征在于,包括以下步骤:

第一,选取长势一致的木本植物幼苗进行实验,实验前测定木本植物幼苗叶、茎和根的干重、氮含量和稳定氮同位素值,其中,木本植物幼苗叶的初始干重、氮含量和稳定氮同位素值分别记为 DW_{10} 、 N_{10} 和 $\delta^{15}N_{10}$,茎的初始干重、氮含量和稳定氮同位素值分别记为 DW_{s0} 、 N_{s0} 和 $\delta^{15}N_{s0}$;根的初始干重、氮含量和稳定氮同位素值分别记为 DW_{r0} 、 N_{r0} 和 $\delta^{15}N_{r0}$,利用 DW_{10} 、 N_{10} 、 $\delta^{15}N_{10}$ 、 DW_{s0} 、 N_{s0} 、 $\delta^{15}N_{s0}$ 、 DW_{r0} 、 N_{r0} 和 $\delta^{15}N_{r0}$,计算出初始整株木本植物的稳定氮同位素值和总氮积累量,分别记为 $\delta^{15}N_{\text{whole-plant}0}$ 和 $m_{\text{whole-plant}0}$;

第二,将木本植物幼苗种植在只含硝态氮的营养液中,培养一段时间后测定木本植物幼苗叶、茎和根的干重、氮含量和稳定氮同位素值,其中,实验处理后木本植物幼苗叶的干重、氮含量和稳定氮同位素值分别记为 DW_{11} 、 N_{11} 和 $\delta^{15}N_{11}$,茎的干重、氮含量和稳定氮同位素值分别记为 DW_{s1} 、 N_{s1} 和 $\delta^{15}N_{s1}$,根的干重、氮含量和稳定氮同位素值分别记为 DW_{r1} 、 N_{r1} 和 $\delta^{15}N_{r1}$,利用 DW_{11} 、 N_{11} 、 $\delta^{15}N_{11}$ 、 DW_{s1} 、 N_{s1} 、 $\delta^{15}N_{s1}$ 、 DW_{r1} 、 N_{r1} 和 $\delta^{15}N_{r1}$,计算出实验处理后整株木本植物的稳定氮同位素值和总氮积累量,分别记为 $\delta^{15}N_{\text{whole-plant}1}$ 和 $m_{\text{whole-plant}1}$;

第三,根据同位素质量平衡方程,依据 $\delta^{15}N_{\text{whole-plant}0}$ 、 $\delta^{15}N_{\text{whole-plant}1}$ 、 $m_{\text{whole-plant}0}$ 和 $m_{\text{whole-plant}1}$,计算出整株木本植物的氮同化产物的稳定同位素值,记为 $\delta^{15}N_{\text{assimilates}}$;

第四,依据 $\delta^{15}N_{\text{assimilates}}$ 计算整株木本植物氮同化产物的稳定氮同位素分馏值,记为 $\Delta^{15}N_{\text{assimilates}}$,并根据 $\Delta^{15}N_{\text{assimilates}}$ 的大小评估木本植物的硝酸盐供需关系;

第五,根据同位素质量平衡方程,利用 DW_{10} 、 N_{10} 、 $\delta^{15}N_{10}$ 、 DW_{11} 、 N_{11} 和 $\delta^{15}N_{11}$,计算出叶的氮同化产物的稳定氮同位素值,记为 $\delta^{15}N_{\text{leaf-assimilates}}$,利用 DW_{s0} 、 N_{s0} 、 $\delta^{15}N_{s0}$ 、 DW_{s1} 、 N_{s1} 和 $\delta^{15}N_{s1}$,计算出茎的氮同化产物的稳定氮同位素值,记为 $\delta^{15}N_{\text{stem-assimilates}}$,利用 DW_{r0} 、 N_{r0} 、 $\delta^{15}N_{r0}$ 、 DW_{r1} 、 N_{r1} 和 $\delta^{15}N_{r1}$,计算出根的氮同化产物的稳定氮同位素值,记为 $\delta^{15}N_{\text{root-assimilates}}$;

第六,根据两端元同位素混合模型,利用 $\delta^{15}N_{\text{leaf-assimilates}}$ 、 $\delta^{15}N_{\text{stem-assimilates}}$ 和 $\delta^{15}N_{\text{root-assimilates}}$,计算木本植物新增茎氮来源于叶片氮同化的比例,记为 f_{leafstem} ;来源于根部氮同化的部分,记为 $1-f_{\text{leafstem}}$;

第七,根据 f_{leafstem} 或 $1-f_{\text{leafstem}}$;计算木本植物叶片和根部的氮同化产物总量,分别记为 m_{leaf} 和 m_{root} ,进而评估叶片和根的硝酸盐同化贡献量;

第八,根据 m_{leaf} 和 m_{root} ,计算木本植物叶片的硝酸盐同化贡献量,记为P,木本植物根部的硝酸盐同化贡献量即为 $1-P$ 。

2. 根据权利要求1所述的评估木本植物硝酸盐供需关系及硝酸盐同化产物分配的方法,其特征在于,第一步骤中, $\delta^{15}N_{\text{whole-plant}0}$ 的计算方程如下:

$$\delta^{15}N_{\text{whole-plant}0} (\text{‰}) = (DW_{10} \times N_{10} \times \delta^{15}N_{10} + DW_{s0} \times N_{s0} \times \delta^{15}N_{s0} + DW_{r0} \times N_{r0} \times \delta^{15}N_{r0}) / (DW_{10} \times N_{10} + DW_{s0} \times N_{s0} + DW_{r0} \times N_{r0})$$

$m_{\text{whole-plant}0}$ 的计算方程如下:

$$m_{\text{whole-plant}0} = DW_{10} \times N_{10} + DW_{s0} \times N_{s0} + DW_{r0} \times N_{r0}$$

3. 根据权利要求1所述的评估木本植物硝酸盐供需关系及硝酸盐同化产物分配的方法,其特征在于,第二步骤中,营养液由硝酸盐作为唯一氮源配置成合适氮浓度,且硝酸盐中稳定氮同位素值大于20‰。

4. 根据权利要求1所述的评估木本植物硝酸盐供需关系及硝酸盐同化产物分配的方

法,其特征在于,第二步骤中, $\delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant1}}$ 的计算方程如下:

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant1}}(\%) = (\text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} \times \delta^{15}\text{N}_{11} + \text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} \times \delta^{15}\text{N}_{s1} + \text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1} \times \delta^{15}\text{N}_{r1}) / (\text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} + \text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} + \text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1});$$

$m_{\text{whole-plant1}}$ 的计算方程如下:

$$m_{\text{whole-plant1}} = \text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} + \text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} + \text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1}。$$

5. 根据权利要求1所述的评估木本植物硝酸盐供需关系及硝酸盐同化产物分配的方法,其特征在于,第三步骤中, $\delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}}$ 的计算方程如下:

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}}(\%) = (m_{\text{whole-plant1}} \times \delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant1}} - m_{\text{whole-plant0}} \times \delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant0}}) / (m_{\text{whole-plant1}} - m_{\text{whole-plant0}})。$$

6. 根据权利要求1所述的评估木本植物硝酸盐供需关系及硝酸盐同化产物分配的方法,其特征在于,第四步骤中, $\Delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}}$ 的计算方程如下:

$$\Delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}}(\%) = \delta^{15}\text{N}_{\text{substrate}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}}$$

其中, $\delta^{15}\text{N}_{\text{substrate}}$ 为化学药品硝态氮的稳定氮同位素值。

7. 根据权利要求1所述的评估木本植物硝酸盐供需关系及硝酸盐同化产物分配的方法,其特征在于,第五步骤中, $\delta^{15}\text{N}_{\text{leaf-assimilates}}$ 的计算方程如下:

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{leaf-assimilates}}(\%) = (\text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} \times \delta^{15}\text{N}_{11} - \text{DW}_{10} \times \text{N}_{10} \times \delta^{15}\text{N}_{10}) / (\text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} - \text{DW}_{10} \times \text{N}_{10})$$

$\delta^{15}\text{N}_{\text{stem-assimilates}}$ 的计算方程如下:

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{stem-assimilates}}(\%) = (\text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} \times \delta^{15}\text{N}_{s1} - \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0} \times \delta^{15}\text{N}_{s0}) / (\text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} - \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0})$$

$\delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}}$ 的计算方程如下:

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}}(\%) = (\text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1} \times \delta^{15}\text{N}_{r1} - \text{DW}_{r0} \times \text{N}_{r0} \times \delta^{15}\text{N}_{r0}) / (\text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1} - \text{DW}_{r0} \times \text{N}_{r0})。$$

8. 根据权利要求1所述的评估木本植物硝酸盐供需关系及硝酸盐同化产物分配的方法,其特征在于,第六步骤中, $f_{\text{leaf stem}}$ 的计算方程如下:

$$f_{\text{leaf stem}} = \frac{(\delta^{15}\text{N}_{\text{stem-assimilates}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}})}{(\delta^{15}\text{N}_{\text{leaf-assimilates}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}})}。$$

9. 根据权利要求1所述的评估木本植物硝酸盐供需关系及硝酸盐同化产物分配的方法,其特征在于,第七步骤中, m_{leaf} 的计算方程如下:

$$m_{\text{leaf}} = (\text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} - \text{DW}_{10} \times \text{N}_{10}) + f_{\text{leaf stem}} \times (\text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} - \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0})$$

m_{root} 的计算方程如下:

$$m_{\text{root}} = (\text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1} - \text{DW}_{r0} \times \text{N}_{r0}) + (1 - f_{\text{leaf stem}}) \times (\text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} - \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0})。$$

10. 根据权利要求1所述的评估木本植物硝酸盐供需关系及硝酸盐同化产物分配的方法,其特征在于,第八步骤中,P的计算方程如下:

$$P(\%) = \frac{m_{\text{leaf}}}{(m_{\text{leaf}} + m_{\text{root}})} \times 100。$$

一种评估木本植物硝酸盐供需关系及硝酸盐同化产物分配的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种评估木本植物硝酸盐供需关系及硝酸盐同化产物分配的方法,属于农业资源评价技术和生物质能生产技术领域。

背景技术

[0002] 在土壤通气良好或高pH(>7)条件下(如喀斯特环境),硝态氮是土壤中主要的无机氮赋存形式,且大多数植物吸收和利用的无机氮也主要是硝态氮。通常情况下,植物的生长发育情况取决于无机氮的供应情况,低氮胁迫会抑制植物的生长发育,而过量的无机氮供应不仅意味着氮肥的浪费,还会导致环境问题。因此,研究植物的硝酸盐供需关系对精确施肥就显得尤为重要。

[0003] 稳定氮同位素分馏值能指示外界氮供应与植物氮需求之间的关系。通常,氮同位素分馏值越小,则外界的氮供应量越接近植物的氮需求量(即无机氮的供需平衡),而氮同位素分馏值越大,则表明外界的氮供应量低于或超过了植物的氮需求量。因此,量化木本植物在硝态氮作为唯一氮源时的整株植物尺度的稳定氮同位素分馏值,即可估计木本植物的硝酸盐供需关系,从而科学管理喀斯特环境下的无机氮供应。

[0004] 植物的氮同化主要发生在叶片和根部,因此,木本植物茎部的有机氮就主要来源于叶片氮同化产物和根部氮同化产物的转移。量化茎部新增有机氮的来源比例,即来源于叶片氮同化产物的比例和根部氮同化产物的比例,便可以估算硝态氮作为唯一氮源条件下木本植物的叶片硝酸盐同化量和根部硝酸盐同化量,进而评估木本植物叶片和根部的硝酸盐同化贡献量。了解木本植物叶片和根部的硝酸盐同化贡献量,可以更深刻地认识木本植物的氮代谢。然而,目前主要依靠测定植物根茎叶硝酸还原酶活力以及硝酸盐同化能力,来获取植物硝酸盐供需关系和硝酸盐同化产物的分配情况,该种方式操作复杂,效率低下,准确性差,不能实现硝态氮作为唯一氮源条件下的精准施肥,有必要对此进行研究改进。

发明内容

[0005] 基于上述,本发明提供一种评估木本植物硝酸盐供需关系及硝酸盐同化产物分配的方法,定量评估木本植物硝酸盐供需关系和硝酸盐同化能力,填补了硝态氮作为唯一氮源条件下不能精准施肥的空白。

[0006] 本发明的技术方案是:一种评估木本植物硝酸盐供需关系及硝酸盐同化产物分配的方法,包括以下步骤:

[0007] 第一,选取长势一致的木本植物幼苗进行实验,实验前测定木本植物幼苗叶、茎和根的干重、氮含量和稳定氮同位素值,其中,木本植物幼苗叶的初始干重、氮含量和稳定氮同位素值分别记为 DW_{10} 、 N_{10} 和 $\delta^{15}N_{10}$,茎的初始干重、氮含量和稳定氮同位素值分别记为 DW_{s0} 、 N_{s0} 和 $\delta^{15}N_{s0}$;根的初始干重、氮含量和稳定氮同位素值分别记为 DW_{r0} 、 N_{r0} 和 $\delta^{15}N_{r0}$,利用 DW_{10} 、 N_{10} 、 $\delta^{15}N_{10}$ 、 DW_{s0} 、 N_{s0} 、 $\delta^{15}N_{s0}$ 、 DW_{r0} 、 N_{r0} 和 $\delta^{15}N_{r0}$,计算出初始整株木本植物的稳定氮同位素

值和总氮积累量,分别记为 $\delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant}0}$,和 $m_{\text{whole-plant}0}$;

[0008] 其中, $\delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant}0}$ 的计算方程如下:

$$[0009] \quad \delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant}0} (\text{‰}) = (\text{DW}_{10} \times \text{N}_{10} \times \delta^{15}\text{N}_{10} + \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0} \times \delta^{15}\text{N}_{s0} + \text{DW}_{r0} \times \text{N}_{r0} \times \delta^{15}\text{N}_{r0}) / (\text{DW}_{10} \times \text{N}_{10} + \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0} + \text{DW}_{r0} \times \text{N}_{r0})$$

[0010] $m_{\text{whole-plant}0}$ 的计算方程如下:

$$[0011] \quad m_{\text{whole-plant}0} = \text{DW}_{10} \times \text{N}_{10} + \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0} + \text{DW}_{r0} \times \text{N}_{r0}.$$

[0012] 第二,将木本植物幼苗种植在只含硝态氮的营养液中,培养一段时间后测定木本植物幼苗叶、茎和根的干重、氮含量和稳定氮同位素值,其中,实验处理后木本植物幼苗叶的干重、氮含量和稳定氮同位素值分别记为 DW_{11} 、 N_{11} 和 $\delta^{15}\text{N}_{11}$,茎的干重、氮含量和稳定氮同位素值分别记为 DW_{s1} 、 N_{s1} 和 $\delta^{15}\text{N}_{s1}$,根的干重、氮含量和稳定氮同位素值分别记为 DW_{r1} 、 N_{r1} 和 $\delta^{15}\text{N}_{r1}$,利用 DW_{11} 、 N_{11} 、 $\delta^{15}\text{N}_{11}$ 、 DW_{s1} 、 N_{s1} 、 $\delta^{15}\text{N}_{s1}$ 、 DW_{r1} 、 N_{r1} 和 $\delta^{15}\text{N}_{r1}$,计算出实验处理后整株木本植物的稳定氮同位素值和总氮积累量,分别记为 $\delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant}1}$,和 $m_{\text{whole-plant}1}$;

[0013] 其中, $\delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant}1}$ 的计算方程如下:

$$[0014] \quad \delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant}1} (\text{‰}) = (\text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} \times \delta^{15}\text{N}_{11} + \text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} \times \delta^{15}\text{N}_{s1} + \text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1} \times \delta^{15}\text{N}_{r1}) / (\text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} + \text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} + \text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1});$$

[0015] $m_{\text{whole-plant}1}$ 的计算方程如下:

$$[0016] \quad m_{\text{whole-plant}1} = \text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} + \text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} + \text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1}.$$

[0017] 第三,根据同位素质量平衡方程,依据 $\delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant}0}$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant}1}$ 、 $m_{\text{whole-plant}0}$ 和 $m_{\text{whole-plant}1}$,计算出整株木本植物的氮同化产物的稳定同位素值,记为 $\delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}}$;

[0018] 其中, $\delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}}$ 的计算方程如下:

$$[0019] \quad \delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}} (\text{‰}) = (m_{\text{whole-plant}1} \times \delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant}1} - m_{\text{whole-plant}0} \times \delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant}0}) / (m_{\text{whole-plant}1} - m_{\text{whole-plant}0}).$$

[0020] 第四,依据 $\delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}}$ 计算整株木本植物氮同化产物的稳定氮同位素分馏值,记为 $\Delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}}$,并根据 $\Delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}}$ 的大小评估木本植物的硝酸盐供需关系;

[0021] 其中, $\Delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}}$ 的计算方程如下:

$$[0022] \quad \Delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}} (\text{‰}) = \delta^{15}\text{N}_{\text{substrate}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}}$$

[0023] 式中, $\delta^{15}\text{N}_{\text{substrate}}$ 为化学药品硝态氮的稳定氮同位素值。

[0024] 第五,根据同位素质量平衡方程,利用 DW_{10} 、 N_{10} 、 $\delta^{15}\text{N}_{10}$ 、 DW_{11} 、 N_{11} 和 $\delta^{15}\text{N}_{11}$,计算出叶的氮同化产物的稳定氮同位素值,记为 $\delta^{15}\text{N}_{\text{leaf-assimilates}}$,利用 DW_{s0} 、 N_{s0} 、 $\delta^{15}\text{N}_{s0}$ 、 DW_{s1} 、 N_{s1} 和 $\delta^{15}\text{N}_{s1}$,计算出茎的氮同化产物的稳定氮同位素值,记为 $\delta^{15}\text{N}_{\text{stem-assimilates}}$,利用 DW_{r0} 、 N_{r0} 、 $\delta^{15}\text{N}_{r0}$ 、 DW_{r1} 、 N_{r1} 和 $\delta^{15}\text{N}_{r1}$,计算出根的氮同化产物的稳定氮同位素值,记为 $\delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}}$;

[0025] 其中, $\delta^{15}\text{N}_{\text{leaf-assimilates}}$ 的计算方程如下:

$$[0026] \quad \delta^{15}\text{N}_{\text{leaf-assimilates}} (\text{‰}) = (\text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} \times \delta^{15}\text{N}_{11} - \text{DW}_{10} \times \text{N}_{10} \times \delta^{15}\text{N}_{10}) / (\text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} - \text{DW}_{10} \times \text{N}_{10})$$

[0027] $\delta^{15}\text{N}_{\text{stem-assimilates}}$ 的计算方程如下:

$$[0028] \quad \delta^{15}\text{N}_{\text{stem-assimilates}} (\text{‰}) = (\text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} \times \delta^{15}\text{N}_{s1} - \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0} \times \delta^{15}\text{N}_{s0}) / (\text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} - \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0})$$

[0029] $\delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}}$ 的计算方程如下:

$$[0030] \quad \delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}} (\text{‰}) = (\text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1} \times \delta^{15}\text{N}_{r1} - \text{DW}_{r0} \times \text{N}_{r0} \times \delta^{15}\text{N}_{r0}) / (\text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1} - \text{DW}_{r0} \times \text{N}_{r0})$$

$\times N_{r0}$)。

[0031] 第六,根据两端元同位素混合模型,利用 $\delta^{15}N_{\text{leaf-assimilates}}$ 、 $\delta^{15}N_{\text{stem-assimilates}}$ 和 $\delta^{15}N_{\text{root-assimilates}}$,计算木本植物新增茎氮来源于叶片氮同化的比例,记为 f_{leafstem} ;来源于根部氮同化的部分,记为 $1-f_{\text{leafstem}}$;

[0032] 其中, f_{leafstem} 的计算方程如下:

$$[0033] \quad f_{\text{leafstem}} = \frac{(\delta^{15}N_{\text{stem-assimilates}} - \delta^{15}N_{\text{root-assimilates}})}{(\delta^{15}N_{\text{leaf-assimilates}} - \delta^{15}N_{\text{root-assimilates}})}$$

[0034] 第七,根据 f_{leafstem} 或 $1-f_{\text{leafstem}}$;计算木本植物叶片和根部的氮同化产物总量,分别记为 m_{leaf} 和 m_{root} ,进而评估叶片和根的硝酸盐同化贡献量;

[0035] 其中, m_{leaf} 的计算方程如下:

$$[0036] \quad m_{\text{leaf}} = (DW_{11} \times N_{11} - DW_{10} \times N_{10}) + f_{\text{leafstem}} \times (DW_{s1} \times N_{s1} - DW_{s0} \times N_{s0})$$

[0037] m_{root} 的计算方程如下:

$$[0038] \quad m_{\text{root}} = (DW_{r1} \times N_{r1} - DW_{r0} \times N_{r0}) + (1 - f_{\text{leafstem}}) \times (DW_{s1} \times N_{s1} - DW_{s0} \times N_{s0})$$

[0039] 第八,根据 m_{leaf} 和 m_{root} ,计算木本植物叶片的硝酸盐同化贡献量,记为P,木本植物根部的硝酸盐同化贡献量即为 $1-P$;

[0040] 其中,P的计算方程如下:

$$[0041] \quad P (\%) = \frac{m_{\text{leaf}}}{(m_{\text{leaf}} + m_{\text{root}})} \times 100$$

[0042] 上述营养液由硝酸盐作为唯一氮源配置成合适氮浓度,且硝酸盐中稳定氮同位素值大于20‰。

[0043] 本发明的有益效果是:本发明可以评估生长在硝态氮作为唯一氮源条件下或喀斯特环境下的木本植物的硝酸盐供需关系,为科学管理木本植物的硝态氮供应量提供理论依据;同时,本发明还能估计木本植物叶片和根部的氮同化总量,进而评估硝态氮作为唯一氮源条件下或喀斯特环境下木本植物叶和根的硝酸盐同化贡献量,为深刻认识喀斯特适生植物的无机氮利用策略以及精确施肥提供科学依据。与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0044] 1) 本发明只需要简单测定植物根茎叶的生物量、氮的含量和稳定氮同位素值,而不需测定植物根茎叶硝酸还原酶活力以及硝酸盐同化能力,就可以获取植物硝酸盐供需关系和硝酸盐同化产物的分配情况,步骤简单。

[0045] 2) 本发明可以定量评估不同硝态氮浓度下木本植物硝酸盐供需关系,为氮肥精确管理提供科学依据。

[0046] 3) 本发明可以定量评估喀斯特环境下植物叶片和根部的硝酸盐同化产物的分配,有助于深刻认识喀斯特适生植物的无机氮利用策略,为提高喀斯特地区植被生产力提供理论依据。

[0047] 4) 本发明基于同位素质量平衡方程和两端元同位素混合模型,计算结果准确。

[0048] 本发明的技术原理是:

[0049] 稳定氮同位素技术目前已被广泛用于研究植物体内的氮代谢。自然界中氮元素的两种稳定氮同位素为 ^{14}N 和 ^{15}N ,稳定氮同位素值通常用 $\delta^{15}N$ (‰)表示。植物在同化无机氮时通常存在氮同位素的分馏现象,进而导致同化产物的 $\delta^{15}N$ 值小于培养基质的 $\delta^{15}N$ 值。根据同化产物的 $\delta^{15}N$ 值可以计算出植物同化无机氮发生的稳定氮同位素分馏值,即 $\Delta^{15}N$ 值。通过

$\Delta^{15}\text{N}$ 值的大小可以判断植物的硝酸盐供需关系,氮同位素分馏值越小,则外界的氮供应量越接近植物的氮需求量(即无机氮的供需平衡),而氮同位素分馏值越大,则表明外界的氮供应量低于或超过了植物的氮需求量。

[0050] 木本植物的硝酸盐同化通常发生在叶片和根部,因此,评估木本植物的氮同化产物的稳定氮同位素值需要综合考虑木本植物在实验处理前后的叶、茎和根的稳定氮同位素值和氮积累,即需要计算出实验处理前后整株木本植物的稳定氮同位素值和氮积累量。然后基于同位素质量平衡方程即可计算出整株木本植物氮同化产物的稳定氮同位素值。

[0051] 整株木本植物的稳定氮同位素值通过以下方程计算:

$$[0052] \quad \delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant}0} (\text{‰}) = (\text{DW}_{10} \times \text{N}_{10} \times \delta^{15}\text{N}_{10} + \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0} \times \delta^{15}\text{N}_{s0} + \text{DW}_{r0} \times \text{N}_{r0} \times \delta^{15}\text{N}_{r0}) / (\text{DW}_{10} \times \text{N}_{10} + \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0} + \text{DW}_{r0} \times \text{N}_{r0}) \quad (1)$$

$$[0053] \quad \delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant}1} (\text{‰}) = (\text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} \times \delta^{15}\text{N}_{11} + \text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} \times \delta^{15}\text{N}_{s1} + \text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1} \times \delta^{15}\text{N}_{r1}) / (\text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} + \text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} + \text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1}) \quad (2)$$

[0054] 这里的 $\delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant}0}$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant}1}$ 分别是实验处理前和实验处理后的整株木本植物的稳定氮同位素值; DW_{10} 和 DW_{11} 分别是实验处理前和实验处理后的木本植物叶的干重; DW_{s0} 和 DW_{s1} 分别是实验处理前和实验处理后的木本植物茎的干重; DW_{r0} 和 DW_{r1} 分别是实验处理前和实验处理后的木本植物根的干重; N_{10} 和 N_{11} 分别是实验处理前和实验处理后的木本植物叶的氮含量; N_{s0} 和 N_{s1} 分别是实验处理前和实验处理后的木本植物茎的氮含量; N_{r0} 和 N_{r1} 分别是实验处理前和实验处理后的木本植物根的氮含量; $\delta^{15}\text{N}_{10}$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{11}$ 分别是实验处理前和实验处理后的木本植物叶的稳定氮同位素值; $\delta^{15}\text{N}_{s0}$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{s1}$ 分别是实验处理前和实验处理后的木本植物茎的稳定氮同位素值; $\delta^{15}\text{N}_{r0}$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{r1}$ 分别是实验处理前和实验处理后的木本植物根的稳定氮同位素值;

[0055] 整株木本植物的总氮积累量通过以下方程计算:

$$[0056] \quad m_{\text{whole-plant}0} = \text{DW}_{10} \times \text{N}_{10} + \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0} + \text{DW}_{r0} \times \text{N}_{r0} \quad (3)$$

$$[0057] \quad m_{\text{whole-plant}1} = \text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} + \text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} + \text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1} \quad (4)$$

[0058] 根据同位素质量平衡方程,利用 $\delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant}0}$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant}1}$ 、 $m_{\text{whole-plant}0}$ 和 $m_{\text{whole-plant}1}$,通过以下方程便求解得到整株木本植物的氮同化产物的稳定同位素值($\delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}}$):

$$[0059] \quad \delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}} (\text{‰}) = (m_{\text{whole-plant}1} \times \delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant}1} - m_{\text{whole-plant}0} \times \delta^{15}\text{N}_{\text{whole-plant}0}) / (m_{\text{whole-plant}1} - m_{\text{whole-plant}0}) \quad (5)$$

[0060] 基于整株木本植物的氮同化产物的稳定同位素值,通过以下方程便求解得到整株木本植物氮同化产物的稳定氮同位素分馏值($\Delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}}$):

$$[0061] \quad \Delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}} (\text{‰}) = \delta^{15}\text{N}_{\text{substrate}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}} \quad (6)$$

[0062] 这里的 $\delta^{15}\text{N}_{\text{substrate}}$ 为化学药品硝态氮的稳定氮同位素值;

[0063] 木本植物茎部的有机氮主要来源于叶和根的氮同化产物的转移,因此,木本植物茎部新增有机氮的稳定氮同位素值是叶和根氮同化产物稳定氮同位素值混合的结果。相应地,利用两端元同位素混合模型,即可计算出木本植物新增有机氮的来源比例,即来源于叶片氮同化产物的比例和根部氮同化产物的比例,来源于叶片氮同化的比例记为 f_{leafstem} ;来源于根部氮同化的部分记为 $1 - f_{\text{leafstem}}$;

[0064] 两端元的同位素混合模型表示为:

$$[0065] \quad \delta^{15}\text{N}_{\text{stem-assimilates}} = f_{\text{leaf stem}} \times \delta^{15}\text{N}_{\text{leaf-assimilates}} + (1 - f_{\text{leaf stem}}) \times \delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}} \quad (7)$$

[0066] 这里的 $\delta^{15}\text{N}_{\text{leaf-assimilates}}$ 为叶片氮同化产物的稳定氮同位素值, $\delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}}$ 为根部氮同化产物的稳定氮同位素值, $\delta^{15}\text{N}_{\text{stem-assimilates}}$ 为茎部新增有机氮的稳定氮同位素值(叶片和根部氮同化产物稳定氮同位素值混合后的稳定氮同位素值)。

[0067] 根据实验处理前后木本植物叶、茎和根的稳定氮同位素值和总氮积累量,利用同位素质量平衡方程可以计算 $\delta^{15}\text{N}_{\text{leaf-assimilates}}$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{stem-assimilates}}$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}}$;

[0068] 同位素质量平衡方程表示为:

$$[0069] \quad \delta^{15}\text{N}_{\text{leaf-assimilates}} (\text{‰}) = (\text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} \times \delta^{15}\text{N}_{11} - \text{DW}_{10} \times \text{N}_{10} \times \delta^{15}\text{N}_{10}) / (\text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} - \text{DW}_{10} \times \text{N}_{10}) \quad (8)$$

$$[0070] \quad \delta^{15}\text{N}_{\text{stem-assimilates}} (\text{‰}) = (\text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} \times \delta^{15}\text{N}_{s1} - \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0} \times \delta^{15}\text{N}_{s0}) / (\text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} - \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0}) \quad (9)$$

$$[0071] \quad \delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}} (\text{‰}) = (\text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1} \times \delta^{15}\text{N}_{r1} - \text{DW}_{r0} \times \text{N}_{r0} \times \delta^{15}\text{N}_{r0}) / (\text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1} - \text{DW}_{r0} \times \text{N}_{r0}) \quad (10)$$

[0072] 计算出 $\delta^{15}\text{N}_{\text{leaf-assimilates}}$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{stem-assimilates}}$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}}$ 后,将方程(7)变形为以下方程:

$$[0073] \quad f_{\text{leaf stem}} = \frac{(\delta^{15}\text{N}_{\text{stem-assimilates}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}})}{(\delta^{15}\text{N}_{\text{leaf-assimilates}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}})} \quad (11)$$

[0074] 根据方程(11)即可计算出木本植物新增茎氮来源于叶片氮同化产物的比例,相应地,木本植物新增茎氮来源于根部氮同化产物的比例即为 $1 - f_{\text{leaf stem}}$;通过以下方程便求解得到木本植物叶片和根部的氮同化产物总量:

$$[0075] \quad m_{\text{leaf}} = (\text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} - \text{DW}_{10} \times \text{N}_{10}) + f_{\text{leaf stem}} \times (\text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} - \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0}) \quad (12)$$

$$[0076] \quad m_{\text{root}} = (\text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1} - \text{DW}_{r0} \times \text{N}_{r0}) + (1 - f_{\text{leaf stem}}) \times (\text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} - \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0}) \quad (13)$$

[0077] 这里的 m_{leaf} 为木本植物叶片氮同化产物的总量, m_{root} 为木本植物根部氮同化产物的总量;

[0078] 根据 m_{leaf} 和 m_{root} ,木本植物叶片的硝酸盐同化贡献量(P)即可通过以下方程计算:

$$[0079] \quad P (\%) = \frac{m_{\text{leaf}}}{(m_{\text{leaf}} + m_{\text{root}})} \times 100 \quad (14)$$

[0080] 相应地,木本植物根部的硝酸盐同化贡献量即为 $1 - P$ 。

具体实施方式

[0081] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面对本发明的具体实施方式做详细的说明。在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本发明。但是本发明能够以很多不同于在此描述的其它方式来实施,本领域技术人员可以在不违背本发明内涵的情况下做类似改进,因此本发明不受下面公开的具体实施的限制。

[0082] 本发明实施方式包括以下步骤:

[0083] 第一,通过稳定同位素质谱仪测定用于提供营养液中唯一氮源的硝酸盐的稳定氮同位素比值,筛选出稳定氮同位素值大于20‰的硝酸盐;将这种硝酸盐作为唯一氮源配置合适氮浓度的营养液。本实施例中,硝态氮选定为同一生产厂家、同一批次的稳定氮同位素

组成相同的硝酸钠。

[0084] 第二,将所有培养选定在同一培养室中培养。

[0085] 第三,将长势一致的木本植物幼苗培养在上述营养液中;

[0086] 第四,同样,随机选取3株长势一致的木本植物幼苗,分别测定这三株幼苗叶、茎和根的干重、氮含量和稳定氮同位素值。这三株幼苗的叶、茎和根的平均干重、平均叶片氮含量和平均稳定氮同位素值就近似为整个实验处理中木本植物幼苗叶、茎和根的初始干重、初始氮含量和初始稳定氮同位素值;木本植物幼苗叶的初始干重、氮含量和稳定氮同位素值分别记为 DW_{10} 、 N_{10} 和 $\delta^{15}N_{10}$;茎的初始干重、氮含量和稳定氮同位素值分别记为 DW_{s0} 、 N_{s0} 和 $\delta^{15}N_{s0}$;根的初始干重、氮含量和稳定氮同位素值分别记为 DW_{r0} 、 N_{r0} 和 $\delta^{15}N_{r0}$;

[0087] 第五,木本植物幼苗经过20天的培养后,期间,每2天更换一次处理液,每株幼苗500ml处理液;分别测定木本植物的叶、茎和根的干重、氮含量和稳定氮同位素值。木本植物幼苗处理20天后叶的干重、氮含量和稳定氮同位素值分别记为 DW_{11} 、 N_{11} 和 $\delta^{15}N_{11}$;茎的干重、氮含量和稳定氮同位素值分别记为 DW_{s1} 、 N_{s1} 和 $\delta^{15}N_{s1}$;根的干重、氮含量和稳定氮同位素值分别记为 DW_{r1} 、 N_{r1} 和 $\delta^{15}N_{r1}$;

[0088] 第六,利用 DW_{10} 、 N_{10} 、 $\delta^{15}N_{10}$ 、 DW_{s0} 、 N_{s0} 、 $\delta^{15}N_{s0}$ 、 DW_{r0} 、 N_{r0} 和 $\delta^{15}N_{r0}$,计算出初始整株木本植物的稳定氮同位素值和总氮积累量;记为 $\delta^{15}N_{\text{whole-plant}0}$ 和 $m_{\text{whole-plant}0}$;计算整株木本植物的稳定氮同位素值的方法为:将 DW_{10} 、 N_{10} 、 $\delta^{15}N_{10}$ 、 DW_{s0} 、 N_{s0} 、 $\delta^{15}N_{s0}$ 、 DW_{r0} 、 N_{r0} 和 $\delta^{15}N_{r0}$ 代入方程: $\delta^{15}N_{\text{whole-plant}0}(\text{‰}) = (DW_{10} \times N_{10} \times \delta^{15}N_{10} + DW_{s0} \times N_{s0} \times \delta^{15}N_{s0} + DW_{r0} \times N_{r0} \times \delta^{15}N_{r0}) / (DW_{10} \times N_{10} + DW_{s0} \times N_{s0} + DW_{r0} \times N_{r0})$;计算整株木本植物的总氮积累量的方法为:将 DW_{10} 、 N_{10} 、 DW_{s0} 、 N_{s0} 、 DW_{r0} 和 N_{r0} 代入方程: $m_{\text{whole-plant}0} = DW_{10} \times N_{10} + DW_{s0} \times N_{s0} + DW_{r0} \times N_{r0}$;

[0089] 第七,利用 DW_{11} 、 N_{11} 、 $\delta^{15}N_{11}$ 、 DW_{s1} 、 N_{s1} 、 $\delta^{15}N_{s1}$ 、 DW_{r1} 、 N_{r1} 和 $\delta^{15}N_{r1}$,计算出培养20天后整株木本植物的稳定氮同位素值和总氮积累量;记为 $\delta^{15}N_{\text{whole-plant}1}$ 和 $m_{\text{whole-plant}1}$;计算整株木本植物的稳定氮同位素值的方法为:将 DW_{11} 、 N_{11} 、 $\delta^{15}N_{11}$ 、 DW_{s1} 、 N_{s1} 、 $\delta^{15}N_{s1}$ 、 DW_{r1} 、 N_{r1} 和 $\delta^{15}N_{r1}$ 代入方程: $\delta^{15}N_{\text{whole-plant}1}(\text{‰}) = (DW_{11} \times N_{11} \times \delta^{15}N_{11} + DW_{s1} \times N_{s1} \times \delta^{15}N_{s1} + DW_{r1} \times N_{r1} \times \delta^{15}N_{r1}) / (DW_{11} \times N_{11} + DW_{s1} \times N_{s1} + DW_{r1} \times N_{r1})$;计算整株木本植物的总氮积累量的方法为: $m_{\text{whole-plant}1} = DW_{11} \times N_{11} + DW_{s1} \times N_{s1} + DW_{r1} \times N_{r1}$;

[0090] 第八,根据同位素质量平衡方程,依据 $\delta^{15}N_{\text{whole-plant}0}$ 、 $\delta^{15}N_{\text{whole-plant}1}$ 、 $m_{\text{whole-plant}0}$ 和 $m_{\text{whole-plant}1}$ 可算出整株木本植物的氮同化产物的稳定同位素值;记为 $\delta^{15}N_{\text{assimilates}}$;计算整株木本植物的氮同化产物的稳定同位素值的方法为: $\delta^{15}N_{\text{assimilates}}(\text{‰}) = (m_{\text{whole-plant}1} \times \delta^{15}N_{\text{whole-plant}1} - m_{\text{whole-plant}0} \times \delta^{15}N_{\text{whole-plant}0}) / (m_{\text{whole-plant}1} - m_{\text{whole-plant}0})$;

[0091] 第九,依据 $\delta^{15}N_{\text{assimilates}}$ 计算整株木本植物氮同化产物的稳定氮同位素分馏值,记为 $\Delta^{15}N_{\text{assimilates}}$;计算整株木本植物氮同化产物的稳定氮同位素分馏值的方法为:将 $\delta^{15}N_{\text{assimilates}}$ 代入方程: $\Delta^{15}N_{\text{assimilates}}(\text{‰}) = \delta^{15}N_{\text{assimilates}} - \delta^{15}N_{\text{substrate}}$, $\delta^{15}N_{\text{substrate}}$ 为化学药品硝态氮的稳定氮同位素值;

[0092] 第十,根据 $\Delta^{15}N_{\text{assimilates}}$ 的大小评估木本植物的硝酸盐供需关系;

[0093] 第十一,根据同位素质量平衡方程,利用 DW_{10} 、 N_{10} 、 $\delta^{15}N_{10}$ 、 DW_{11} 、 N_{11} 和 $\delta^{15}N_{11}$,计算出叶的氮同化产物的稳定氮同位素值,记为 $\delta^{15}N_{\text{leaf-assimilates}}$;计算叶的氮同化产物的稳定氮同位素值的方法为:将 DW_{10} 、 N_{10} 、 $\delta^{15}N_{10}$ 、 DW_{11} 、 N_{11} 和 $\delta^{15}N_{11}$ 代入方程: $\delta^{15}N_{\text{leaf-assimilates}}(\text{‰}) = (DW_{11} \times N_{11} \times \delta^{15}N_{11} - DW_{10} \times N_{10} \times \delta^{15}N_{10}) / (DW_{11} \times N_{11} - DW_{10} \times N_{10})$;

[0094] 第十二,根据同位素质量平衡方程,利用 DW_{s_0} 、 N_{s_0} 、 $\delta^{15}N_{s_0}$ 、 DW_{s_1} 、 N_{s_1} 和 $\delta^{15}N_{s_1}$,计算出茎的氮同化产物的稳定氮同位素值,记为 $\delta^{15}N_{\text{stem-assimilates}}$;计算茎的氮同化产物的稳定氮同位素值的方法为:将 DW_{s_0} 、 N_{s_0} 、 $\delta^{15}N_{s_0}$ 、 DW_{s_1} 、 N_{s_1} 和 $\delta^{15}N_{s_1}$ 代入方程: $\delta^{15}N_{\text{stem-assimilates}}(\%) = (DW_{s_1} \times N_{s_1} \times \delta^{15}N_{s_1} - DW_{s_0} \times N_{s_0} \times \delta^{15}N_{s_0}) / (DW_{s_1} \times N_{s_1} - DW_{s_0} \times N_{s_0})$;

[0095] 第十三,根据同位素质量平衡方程,利用 DW_{r_0} 、 N_{r_0} 、 $\delta^{15}N_{r_0}$ 、 DW_{r_1} 、 N_{r_1} 和 $\delta^{15}N_{s_1}$,计算出根的氮同化产物的稳定氮同位素值,记为 $\delta^{15}N_{\text{root-assimilates}}$;计算根的氮同化产物的稳定氮同位素值的方法为:将 DW_{r_0} 、 N_{r_0} 、 $\delta^{15}N_{r_0}$ 、 DW_{r_1} 、 N_{r_1} 和 $\delta^{15}N_{r_1}$ 代入方程: $\delta^{15}N_{\text{root-assimilates}}(\%) = (DW_{r_1} \times N_{r_1} \times \delta^{15}N_{r_1} - DW_{r_0} \times N_{r_0} \times \delta^{15}N_{r_0}) / (DW_{r_1} \times N_{r_1} - DW_{r_0} \times N_{r_0})$;

[0096] 第十四,根据两端元同位素混合模型,利用 $\delta^{15}N_{\text{leaf-assimilates}}$ 、 $\delta^{15}N_{\text{stem-assimilates}}$ 和 $\delta^{15}N_{\text{root-assimilates}}$,计算木本植物新增茎氮来源于叶片氮同化的比例,记为 f_{leafstem} ;来源于根部氮同化的部分,记为 $1-f_{\text{leafstem}}$;计算木本植物新增茎氮来源于叶片氮同化的比例的方法为:将 $\delta^{15}N_{\text{leaf-assimilates}}$ 、 $\delta^{15}N_{\text{stem-assimilates}}$ 和 $\delta^{15}N_{\text{root-assimilates}}$ 代入方程: $f_{\text{leafstem}} = \frac{(\delta^{15}N_{\text{stem-assimilates}} - \delta^{15}N_{\text{root-assimilates}})}{(\delta^{15}N_{\text{leaf-assimilates}} - \delta^{15}N_{\text{root-assimilates}})}$;

[0097] 第十五,根据 f_{leafstem} 或 $1-f_{\text{leafstem}}$;计算木本植物叶片和根部的氮同化产物总量,分别记为 m_{leaf} 和 m_{root} ,进而评估叶片和根的硝酸盐同化贡献量;计算木本植物叶片和根部的氮同化产物总量的方法为:将 DW_{10} 、 N_{10} 、 DW_{11} 、 N_{11} 、 DW_{s_0} 、 N_{s_0} 、 DW_{s_1} 、 N_{s_1} 和 f_{leafstem} 代入方程: $m_{\text{leaf}} = (DW_{11} \times N_{11} - DW_{10} \times N_{10}) + f_{\text{leafstem}} \times (DW_{s_1} \times N_{s_1} - DW_{s_0} \times N_{s_0})$;将 DW_{r_0} 、 N_{r_0} 、 DW_{r_1} 、 N_{r_1} 、 DW_{s_0} 、 N_{s_0} 、 DW_{s_1} 、 N_{s_1} 和 $1-f_{\text{leafstem}}$ 代入方程: $m_{\text{root}} = (DW_{r_1} \times N_{r_1} - DW_{r_0} \times N_{r_0}) + (1-f_{\text{leafstem}}) \times (DW_{s_1} \times N_{s_1} - DW_{s_0} \times N_{s_0})$;

[0098] 第十六,根据 m_{leaf} 和 m_{root} ,计算木本植物叶片的硝酸盐同化贡献量,记为P,计算木本植物叶片硝酸盐同化贡献量的方法为:将 m_{leaf} 和 m_{root} 代入方程: $P(\%) = \frac{m_{\text{leaf}}}{(m_{\text{leaf}} + m_{\text{root}})} \times 100$;木本植物根部的硝酸盐同化贡献量即为 $1-P$;

[0099] 实施例1:

[0100] 培养材料:长势一致的构树幼苗

[0101] 培养条件:采用改进的1/2霍格兰营养液培养构树幼苗,硝态氮是霍格兰营养液中的唯一氮源,其稳定氮同位素值为: $\delta^{15}N_{\text{substrate}} = 22.35\%$ 。培养室内光照强度为光照强度为 $500 \pm 25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,光照时温度为 $25 \pm 2^\circ\text{C}$,晚上的温度为 $19 \pm 2^\circ\text{C}$,相对湿度为55-60%,培养液的pH值为 7.5 ± 0.1 。由于喀斯特地区土壤中硝态氮含量远小于10mM,因此,设置霍格兰营养液中的硝态氮浓度分别为0.5mM、2mM和8mM。构树幼苗分别在上述霍格兰营养液中培养20天,其中,每2天更换一次上述培养液,每次每株构树幼苗更换500mL上述培养液;在实验处理开始时,随机选取3株长势一致的构树幼苗,分别测定这三株幼苗叶、茎和根的干重、氮含量和稳定氮同位素值。这3株幼苗的叶、茎和根的平均干重、平均氮含量和平均稳定氮同位素值就近似为整个实验处理中构树幼苗叶、茎和根的初始干重、初始氮含量和初始稳定氮同位素值,测定的叶片初始干重 DW_{10} 为0.348g (n=3),测定的茎部初始干重 DW_{s_0} 为0.075g (n=3),测定的根部初始干重 DW_{r_0} 为0.070g (n=3),测定的叶片初始氮含量 N_{10} 为4.53% (n=3),测定的茎部初始氮含量 N_{s_0} 为2.81% (n=3),测定的根部初始氮含量 N_{r_0} 为3.15% (n=3),测定的叶片初始稳定氮同位素值 $\delta^{15}N_{10}$ 为7.51‰ (n=3),测定的茎初始稳定氮同位素值 $\delta^{15}N_{s_0}$ 为6.97‰ (n=3),测定的根部初始稳定氮同位素值 $\delta^{15}N_{r_0}$ 为6.46‰ (n=3);构树幼苗在

上述3个硝态氮浓度分别培养20天后,依次测定构树幼苗叶、茎和根的干重、氮含量和稳定氮同位素值。测定结果如表1所示:

[0102] 表1硝态氮处理下构树幼苗叶、茎和根的干重、氮含量和稳定氮同位素值

参数	NO ₃ -N (mM)		
	0.5	2	8
DW _{l1} (g)	0.771	1.224	1.460
DW _{s1} (g)	0.464	0.622	0.653
DW _{r1} (g)	0.683	0.967	0.921
N _{l1} (%)	2.76	3.46	4.42
N _{s1} (%)	1.17	1.52	2.06
N _{r1} (%)	1.37	1.97	2.49
δ ¹⁵ N _{l1} (‰)	13.51	18.52	19.62
δ ¹⁵ N _{s1} (‰)	11.93	16.68	19.26
δ ¹⁵ N _{r1} (‰)	10.63	14.66	17.47

[0105] 注:n=3。DW_{l1}为叶的干重,DW_{s1}为茎的干重,DW_{r1}为根的干重,N_{l1}为叶的氮含量,N_{s1}为茎的氮含量,N_{r1}为根的氮含量,δ¹⁵N_{l1}为叶的稳定氮同位素值,δ¹⁵N_{s1}为茎的稳定氮同位素值,δ¹⁵N_{r1}为根的稳定氮同位素值。

[0106] 从表1可知,增加硝态氮的浓度有助促进构树幼苗的生长和氮同化。此外,构树幼苗叶、茎和根的稳定氮同位素值均随着硝态氮浓度的增加而逐渐增大。根据表1的数据,结合构树幼苗叶、茎和根的初始干重、初始氮含量和初始稳定氮同位素值,利用方程 $\delta^{15}N_{\text{whole-plant}0}(\text{‰}) = (DW_{l0} \times N_{l0} \times \delta^{15}N_{l0} + DW_{s0} \times N_{s0} \times \delta^{15}N_{s0} + DW_{r0} \times N_{r0} \times \delta^{15}N_{r0}) / (DW_{l0} \times N_{l0} + DW_{s0} \times N_{s0} + DW_{r0} \times N_{r0})$ 和 $\delta^{15}N_{\text{whole-plant}1}(\text{‰}) = (DW_{l1} \times N_{l1} \times \delta^{15}N_{l1} + DW_{s1} \times N_{s1} \times \delta^{15}N_{s1} + DW_{r1} \times N_{r1} \times \delta^{15}N_{r1}) / (DW_{l1} \times N_{l1} + DW_{s1} \times N_{s1} + DW_{r1} \times N_{r1})$ 就可以计算出实验处理前和实验处理后整株构树幼苗的稳定氮同位素值;利用方程 $m_{\text{whole-plant}0} = DW_{l0} \times N_{l0} + DW_{s0} \times N_{s0} + DW_{r0} \times N_{r0}$ 和 $m_{\text{whole-plant}1} = DW_{l1} \times N_{l1} + DW_{s1} \times N_{s1} + DW_{r1} \times N_{r1}$ 就可以计算出实验处理前和实验处理后整株构树幼苗的氮积累总量;最后根据方程 $\delta^{15}N_{\text{assimilates}}(\text{‰}) = (m_{\text{whole-plant}1} \times \delta^{15}N_{\text{whole-plant}1} - m_{\text{whole-plant}0} \times \delta^{15}N_{\text{whole-plant}0}) / (m_{\text{whole-plant}1} - m_{\text{whole-plant}0})$ 和 $\Delta^{15}N_{\text{assimilates}}(\text{‰}) = \delta^{15}N_{\text{substrate}} - \delta^{15}N_{\text{assimilates}}$ 就可以计算出整株构树幼苗氮同化产物的稳定氮同位素值(δ¹⁵N_{assimilates})和氮同位素分馏值(Δ¹⁵N_{assimilates}),δ¹⁵N_{assimilates}和Δ¹⁵N_{assimilates}计算结果如表2所示:

[0107] 表2硝态氮处理下整株构树幼苗的氮同化产物稳定氮同位素值和稳定氮同位素分馏值

参数	NO ₃ -N (mM)		
	0.5	2	8
[0108] $\delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}}$ (‰)	19.23	21.15	22.02
$\Delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}}$ (‰)	3.12	1.20	0.33

[0109] 注:化学药品硝态氮的稳定氮同位素值为: $\delta^{15}\text{N}_{\text{substrate}} = 22.35\text{‰}$ 。

[0110] 从表2可知,随着硝态氮浓度的增加,构树幼苗氮同化产物的稳定氮同位素值在逐渐增大,即增加硝态氮浓度有助于构树幼苗富集¹⁵N。硝态氮浓度在0.5~8mM时,构树幼苗的氮同化产物的氮同位素分馏值随着硝态氮浓度的增加而逐渐减小,硝态氮浓度为8mM时,构树幼苗的氮同化产物的氮同位素分馏值达到最小值。因此,硝态氮浓度为8mM时,此时的无机氮供应量接近构树幼苗的无机氮需求量。由此可知,构树幼苗对硝态氮的需求量较高,供应8mM的硝态氮并没有超过构树幼苗的无机氮需求量;构树幼苗的氮同化产物的氮同位素分馏值在硝态氮浓度为0.5mM时达到最大值,且明显大于8mM时的氮同位素分馏值,这表明0.5mM的硝态氮供应远低于构树幼苗的无机氮需求量。基于构树幼苗氮同化产物的稳定氮同位素分馏值,就可以估计不同硝态氮浓度下构树幼苗的硝酸盐供需关系,从而避免了无机氮供应不足或过量的现象。

[0111] 此外,根据实验处理前和实验处理后的构树幼苗叶、茎和根的干重、氮含量和稳定氮同位素值,基于同位素质量平衡方程,利用方程 $\delta^{15}\text{N}_{\text{leaf-assimilates}}(\text{‰}) = (\text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} \times \delta^{15}\text{N}_{11} - \text{DW}_{10} \times \text{N}_{10} \times \delta^{15}\text{N}_{10}) / (\text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} - \text{DW}_{10} \times \text{N}_{10})$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{stem-assimilates}}(\text{‰}) = (\text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} \times \delta^{15}\text{N}_{s1} - \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0} \times \delta^{15}\text{N}_{s0}) / (\text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} - \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0})$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}}(\text{‰}) = (\text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1} \times \delta^{15}\text{N}_{r1} - \text{DW}_{r0} \times \text{N}_{r0} \times \delta^{15}\text{N}_{r0}) / (\text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1} - \text{DW}_{r0} \times \text{N}_{r0})$ 就可以计算出构树幼苗实验处理期间叶片氮同化产物的稳定氮同位素值($\delta^{15}\text{N}_{\text{leaf-assimilates}}$)、根部氮同化产物的稳定氮同位素值($\delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}}$)和茎部新增有机氮的稳定氮同位素值($\delta^{15}\text{N}_{\text{stem-assimilates}}$);根据两端元同位素混合模型,利用方程 $f_{\text{leaf stem}} = \frac{(\delta^{15}\text{N}_{\text{stem-assimilates}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}})}{(\delta^{15}\text{N}_{\text{leaf-assimilates}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}})}$ 就可以计算出构树幼苗新增

茎氮来源于叶片氮同化产物的比例($f_{\text{leaf stem}}$),构树幼苗新增茎氮来源于根部氮同化产物的比例即为 $1 - f_{\text{leaf stem}}$; $f_{\text{leaf stem}}$ 和 $1 - f_{\text{leaf stem}}$ 计算结果如表3所示:

[0112] 表3硝态氮处理下整株构树幼苗新增茎氮来源于叶片氮同化产物的比例和来源于根部氮同化产物的比例

参数	NO ₃ -N (mM)		
	0.5	2	8
[0113] $f_{\text{leaf stem}}$	0.1684	0.4013	0.5902
$1 - f_{\text{leaf stem}}$	0.8316	0.5987	0.4098

[0114] 从表3可知,随着硝态氮浓度的增加,构树幼苗茎部新增有机氮来源于叶片氮同化产物的比例在逐渐增加。在硝态氮浓度为0.5mM时,构树幼苗茎部新增有机氮来源于叶片氮同化产物的比例仅有0.1684,茎部新增的有机氮主要来源于根部氮同化产物的转移。当硝

态氮浓度增加到8mM时,构树幼苗茎部新增有机氮来源于叶片氮同化产物的比例达到了0.5902,此时构树幼苗茎部新增的有机氮主要来源于叶片氮同化产物的转移。

[0115] 依据表3的 f_{leafstem} 和 $1-f_{\text{leafstem}}$,结合实验处理前后构树幼苗根、茎和叶的生物量和氮含量,即可计算出整个实验处理期间构树幼苗叶片和根部的氮同化总量,见表4。

[0116] 表4硝态氮处理下整株构树幼苗叶片和根部的氮同化总量

参数	NO ₃ -N (mM)		
	0.5	2	8
[0117] m_{leaf} (g)	0.0061	0.0297	0.0554
m_{root} (g)	0.0097	0.0214	0.0254

[0118] 根据表4构树幼苗在不同硝态氮浓度下的叶片氮同化总量和根部氮同化总量,即可计算出构树幼苗在不同硝态氮浓度下的叶片硝酸盐同化贡献量和根部硝酸盐同化贡献量,见表5。

[0119] 表5硝态氮处理下整株构树幼苗叶片和根部的硝酸盐同化贡献量

参数	NO ₃ -N (mM)		
	0.5	2	8
[0120] P (%)	38.61	58.12	68.56
1-P (%)	61.39	41.88	31.44

[0121] 从表5可知,随着硝态氮浓度的增加,叶片的硝酸盐同化贡献量在逐渐增加。在最高硝态氮浓度下,叶片的硝酸盐同化贡献量是根部硝酸盐同化贡献量的2倍以上。根部的硝酸盐同化贡献量随着硝态氮浓度的增加而逐渐下降。总的来说,硝态氮浓度较低时,构树幼苗的根部硝酸盐同化起主导作用;而硝态氮浓度较高时,构树幼苗的硝酸盐同化主要发生在叶片。因此,基于稳定氮同位素技术,可以量化构树幼苗在不同硝态氮浓度下叶片和根部的硝酸盐同化贡献量,从而更深刻地认识构树幼苗的氮代谢。

[0122] 实施例2:

[0123] 培养材料:长势一致的桑树幼苗

[0124] 培养条件:采用改进的1/2霍格兰营养液培养桑树幼苗,硝态氮是霍格兰营养液中的唯一氮源,其稳定氮同位素值为: $\delta^{15}\text{N}_{\text{substrate}}=22.35\text{‰}$ 。培养室内光照强度为光照强度为 $500\pm 25\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$,光照时温度为 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$,晚上的温度为 $19\pm 2^{\circ}\text{C}$,相对湿度为55-60%,培养液的pH值为 7.5 ± 0.1 。由于喀斯特地区土壤中硝态氮含量远小于10mM,因此,设置霍格兰营养液中的硝态氮浓度分别为0.5mM、2mM和8mM。桑树幼苗分别在上述霍格兰营养液中培养20天,其中,每2天更换一次上述培养液,每次每株桑树幼苗更换500mL上述培养液;在实验处理开始时,随机选取3株长势一致的桑树幼苗,分别测定这三株幼苗叶、茎和根的干重、氮含量和稳定氮同位素值。这3株幼苗的叶、茎和根的平均干重、平均氮含量和平均稳定氮同位素值就近似为整个实验处理中桑树幼苗叶、茎和根的初始干重、初始氮含量和初始稳定氮同位素值,测定的叶片初始干重 DW_{10} 为0.207g ($n=3$),测定的茎部初始干重 DW_{s_0} 为0.104g

(n=3),测定的根部初始干重 DW_{r0} 为0.079g (n=3),测定的叶片初始氮含量 N_{l0} 为4.09% (n=3),测定的茎部初始氮含量 N_{s0} 为1.87% (n=3),测定的根部初始氮含量 N_{r0} 为2.56% (n=3),测定的叶片初始稳定氮同位素值 $\delta^{15}N_{l0}$ 为6.87‰ (n=3),测定的茎初始稳定氮同位素值 $\delta^{15}N_{s0}$ 为5.63‰ (n=3),测定的根部初始稳定氮同位素值 $\delta^{15}N_{r0}$ 为4.95‰ (n=3);桑树幼苗在上述3个硝态氮浓度分别培养20天后,依次测定桑树幼苗叶、茎和根的干重、氮含量和稳定氮同位素值。测定结果如表6所示:

[0125] 表6硝态氮处理下桑树幼苗叶、茎和根的干重、氮含量和稳定氮同位素值

参数	NO ₃ -N (mM)		
	0.5	2	8
DW _{l1} (g)	0.675	0.872	0.908
DW _{s1} (g)	0.463	0.562	0.596
DW _{r1} (g)	0.401	0.478	0.441
[0126] N _{l1} (%)	2.71	3.42	4.55
N _{s1} (%)	1.11	1.39	1.92
N _{r1} (%)	1.24	1.54	2.14
$\delta^{15}N_{l1}$ (‰)	14.78	18.31	18.99
$\delta^{15}N_{s1}$ (‰)	12.63	16.70	17.69
$\delta^{15}N_{r1}$ (‰)	11.02	14.35	16.12

[0127] 注:n=3。 DW_{l1} 为叶的干重, DW_{s1} 为茎的干重, DW_{r1} 为根的干重, N_{l1} 为叶的氮含量, N_{s1} 为茎的氮含量, N_{r1} 为根的氮含量, $\delta^{15}N_{l1}$ 为叶的稳定氮同位素值, $\delta^{15}N_{s1}$ 为茎的稳定氮同位素值, $\delta^{15}N_{r1}$ 为根的稳定氮同位素值。

[0128] 从表6可知,在硝态氮浓度为0.5~2mM时,增加硝态氮浓度明显促进桑树幼苗的生长;但是,当硝态氮浓度超过2mM时,继续增加硝态氮的浓度对桑树幼苗的生长促进作用有限。此外,桑树幼苗叶、茎和根的氮含量和稳定氮同位素值均随着硝态氮浓度的增加而逐渐增大。根据表6的数据,结合桑树幼苗叶、茎和根的初始干重、初始氮含量和初始稳定氮同位素值,利用方程 $\delta^{15}N_{\text{whole-plant}0}$ (‰) = $(DW_{l0} \times N_{l0} \times \delta^{15}N_{l0} + DW_{s0} \times N_{s0} \times \delta^{15}N_{s0} + DW_{r0} \times N_{r0} \times \delta^{15}N_{r0}) / (DW_{l0} \times N_{l0} + DW_{s0} \times N_{s0} + DW_{r0} \times N_{r0})$ 和 $\delta^{15}N_{\text{whole-plant}1}$ (‰) = $(DW_{l1} \times N_{l1} \times \delta^{15}N_{l1} + DW_{s1} \times N_{s1} \times \delta^{15}N_{s1} + DW_{r1} \times N_{r1} \times \delta^{15}N_{r1}) / (DW_{l1} \times N_{l1} + DW_{s1} \times N_{s1} + DW_{r1} \times N_{r1})$ 就可以计算出实验处理前和实验处理后整株桑树幼苗的稳定氮同位素值;利用方程 $m_{\text{whole-plant}0} = DW_{l0} \times N_{l0} + DW_{s0} \times N_{s0} + DW_{r0} \times N_{r0}$ 和 $m_{\text{whole-plant}1} = DW_{l1} \times N_{l1} + DW_{s1} \times N_{s1} + DW_{r1} \times N_{r1}$ 就可以计算出实验处理前和实验处理后整株桑树幼苗的氮积累总量;最后根据方程 $\delta^{15}N_{\text{assimilates}}$ (‰) = $(m_{\text{whole-plant}1} \times \delta^{15}N_{\text{whole-plant}1} - m_{\text{whole-plant}0} \times \delta^{15}N_{\text{whole-plant}0}) / (m_{\text{whole-plant}1} - m_{\text{whole-plant}0})$ 和 $\Delta^{15}N_{\text{assimilates}}$ (‰) = $\delta^{15}N_{\text{substrate}} - \delta^{15}N_{\text{assimilates}}$ 就可以计算出整株桑树幼苗氮同化产物的稳定氮同位素值 ($\delta^{15}N_{\text{assimilates}}$)和氮同位素分馏值 ($\Delta^{15}N_{\text{assimilates}}$), $\delta^{15}N_{\text{assimilates}}$ 和 $\Delta^{15}N_{\text{assimilates}}$ 计算结果如表7所示:

[0129] 表7硝态氮处理下整株桑树幼苗的氮同化产物稳定氮同位素值和稳定氮同位素分馏值

参数	NO ₃ -N (mM)		
	0.5	2	8
[0130] $\delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}}$ (‰)	19.43	21.63	21.24
$\Delta^{15}\text{N}_{\text{assimilates}}$ (‰)	2.92	0.72	1.11

[0131] 从表7可知,随着硝态氮浓度的增加,桑树幼苗氮同化产物的稳定氮同位素值呈现先增大后减小的趋势,在2mM硝态氮浓度时达到最大,而在8mM硝态氮浓度时出现降低;这表明增加硝态氮的浓度并不能同步增加桑树幼苗氮同化产物的稳定氮同位素值。硝态氮浓度在0.5~8mM时,桑树幼苗氮同化产物的稳定氮同位素分馏值随着硝态氮浓度增加呈现先明显下降后缓慢上升的现象。硝态氮浓度为2mM时,桑树幼苗的氮同化产物的氮同位素分馏值达到最小值。因此,硝态氮浓度为2mM时,此时的无机氮供应量接近桑树幼苗的无机氮需求量。由此可知,桑树幼苗对无机氮的需求量不是很高。桑树幼苗在8mM硝态氮浓度下的氮同化产物的氮同位素分馏值稍微高于2mM硝态氮浓度下的氮同化产物的氮同位素分馏值,这表明8mM的硝态氮供应已经超过了桑树幼苗的无机氮需求量;桑树幼苗的氮同化产物的氮同位素分馏值在硝态氮浓度为0.5mM时达到最大值,且明显大于2mM时的氮同位素分馏值,这表明0.5mM的硝态氮供应远低于桑树幼苗的无机氮需求量。基于桑树幼苗氮同化产物的稳定氮同位素分馏值,就可以估计不同硝态氮浓度下的桑树幼苗的硝酸盐供需关系,从而避免了无机氮供应不足或过量的现象。

[0132] 此外,根据实验处理前和实验处理后的桑树幼苗叶、茎和根的干重、氮含量和稳定氮同位素值,基于同位素质量平衡方程,利用方程 $\delta^{15}\text{N}_{\text{leaf-assimilates}}(\text{‰}) = (\text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} \times \delta^{15}\text{N}_{11} - \text{N}_{11} - \text{DW}_{10} \times \text{N}_{10} \times \delta^{15}\text{N}_{10}) / (\text{DW}_{11} \times \text{N}_{11} - \text{DW}_{10} \times \text{N}_{10})$ 、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{stem-assimilates}}(\text{‰}) = (\text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} \times \delta^{15}\text{N}_{s1} - \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0} \times \delta^{15}\text{N}_{s0}) / (\text{DW}_{s1} \times \text{N}_{s1} - \text{DW}_{s0} \times \text{N}_{s0})$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}}(\text{‰}) = (\text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1} \times \delta^{15}\text{N}_{r1} - \text{DW}_{r0} \times \text{N}_{r0} \times \delta^{15}\text{N}_{r0}) / (\text{DW}_{r1} \times \text{N}_{r1} - \text{DW}_{r0} \times \text{N}_{r0})$ 就可以计算出桑树幼苗实验处理期间叶片氮同化产物的稳定氮同位素值($\delta^{15}\text{N}_{\text{leaf-assimilates}}$)、根部氮同化产物的稳定氮同位素值($\delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}}$)和茎部新增有机氮的稳定氮同位素值($\delta^{15}\text{N}_{\text{stem-assimilates}}$);根据两端元同位素混合模型,利用方程 $f_{\text{leafstem}} = \frac{(\delta^{15}\text{N}_{\text{stem-assimilates}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}})}{(\delta^{15}\text{N}_{\text{leaf-assimilates}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{root-assimilates}})}$ 就可以计算出桑树幼苗新增

茎氮来源于叶片氮同化产物的比例(f_{leafstem}),桑树幼苗新增茎氮来源于根部氮同化产物的比例即为 $1 - f_{\text{leafstem}}$; f_{leafstem} 和 $1 - f_{\text{leafstem}}$ 计算结果如表8所示:

[0133] 表8硝态氮处理下整株桑树幼苗新增茎氮来源于叶片氮同化产物的比例和来源于根部氮同化产物的比例

参数	NO ₃ -N (mM)		
	0.5	2	8
[0134] $f_{\text{leaf stem}}$	0.3133	0.5296	0.3746
$1-f_{\text{leaf stem}}$	0.6867	0.4704	0.6254

[0135] 从表8可知,随着硝态氮浓度的增加,桑树幼苗茎部新增有机氮来源于叶片氮同化产物的比例呈现先增加后降低现象。在硝态氮浓度为0.5mM和8mM时,桑树幼苗茎部新增有机氮主要来源于根部氮同化产物的转移。在硝态氮浓度为2mM时,桑树幼苗茎部新增有机氮来源于叶片氮同化产物的比例与来源于根部氮同化产物的比例相近,即叶片和根部贡献给茎部的有机氮总量接近。

[0136] 依据表8的 $f_{\text{leaf stem}}$ 和 $1-f_{\text{leaf stem}}$,结合实验处理前后桑树幼苗根、茎和叶的生物量和氮含量,即可计算出整个实验处理期间桑树幼苗叶片和根部的氮同化总量,见表9。

[0137] 表9硝态氮处理下整株桑树幼苗叶片和根部的氮同化总量

参数	NO ₃ -N (mM)		
	0.5	2	8
[0138] m_{leaf} (g)	0.0107	0.0243	0.0363
m_{root} (g)	0.0051	0.0081	0.0133

[0139] 根据表9桑树幼苗在不同硝态氮浓度下的叶片氮同化总量和根部氮同化总量,即可计算出桑树幼苗在不同硝态氮浓度下的叶片硝酸盐同化贡献量和根部硝酸盐同化贡献量,见表10。

[0140] 表10硝态氮处理下整株桑树幼苗叶片和根部的硝酸盐同化贡献量

参数	NO ₃ -N (mM)		
	0.5	2	8
[0141] P (%)	67.72	75.00	73.19
1-P (%)	32.28	25.00	26.81

[0142] 从表10可知,硝态氮浓度在0.5~8mM时,桑树幼苗的叶片硝酸盐同化贡献量均大于根部的硝酸盐同化贡献量,这表明桑树幼苗的硝酸盐同化主要发生在叶片。因此,基于稳定氮同位素技术,可以量化桑树幼苗在不同硝态氮浓度下叶片和根部的硝酸盐同化贡献量,从而更深刻地认识桑树幼苗的氮代谢。

[0143] 综上所述,基于整株木本植物的硝酸盐同化产物的稳定氮同位素分馏值,可以评估不同硝态氮浓度下木本植物的无机氮供需关系。比较2个实例,我们发现在硝态氮浓度为0.5~8mM时,构树幼苗和桑树幼苗接近无机氮供需平衡时的硝态氮浓度并不相同。构树幼苗在硝态氮浓度为8mM时的无机氮供应量接近需求量,而桑树幼苗在硝态氮浓度为2mM时的无机氮供应量接近需求量。总的来说,构树幼苗的硝态氮需求量大于桑树幼苗的硝态氮需

求量。因此,基于整株木本植物硝酸盐氮同化产物的稳定氮同位素分馏值来评估不同硝态氮浓度下的无机氮供需关系,为科学管理木本植物的硝态氮供应量提供了理论依据。

[0144] 根据同位素质量平衡方程和两端元同位素混合模型可以估计木本植物叶片和根部的氮同化总量,进而能够评估硝态氮作为唯一氮源条件下木本植物叶和根的硝酸盐同化贡献量。比较2个实例,我们发现在硝态氮浓度为0.5~8mM时,桑树幼苗的硝酸盐同化主要发生在叶片;而构树幼苗的硝酸盐主要同化部位取决于外界硝酸盐的浓度,硝态氮浓度较低时,构树幼苗的硝酸盐同化主要发生在根部;外界硝酸盐浓度过高时,构树幼苗的硝酸盐同化主要发生在叶片。构树幼苗会根据外界硝酸盐的供应情况调整自身的氮代谢,尤其是在低氮环境下,构树能加速根的氮同化,有助于根的生长,为适应喀斯特环境打下了形态学基础。此外,量化木本植物在不同硝态氮浓度下叶片和根部的硝酸盐同化贡献量,有助于深刻认识木本植物的氮代谢。

[0145] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但不能因此而理解为对本发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。因此,本发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。