

科尔沁沙地两个菊芋品种叶片 C、N、P 化学计量特征

高 阳,高 凯,王 琳,李天琦,赵力兴

(内蒙古民族大学 自治区饲用作物工程中心,内蒙古 通辽 028043)

摘要:以不同生育期红皮和白皮菊芋叶片为研究对象,通过测定叶片中 C、N、P 含量,计算 C/N、C/P 和 N/P 比值,探讨菊芋叶片 C、N、P 化学计量特征动态变化规律。结果表明,随着生育期的进行,2 种菊芋叶片中 C 含量和 N 含量都呈“降-升-降-升”的变化趋势,而不同生育时期 P 含量红皮菊芋波动较小,白皮菊芋呈现“降-升-降-升”的趋势;C/N 白皮菊芋为 17.57~42.80,红皮菊芋为 11.88~88.78; C/P 白皮菊芋为 442.40~1 567.39,红皮菊芋为 521.49~1 243.72;N/P 白皮菊芋为 10.84~61.21,红皮菊芋为 14.52~46.36;说明生长在科尔沁沙地的菊芋品种生长主要受 P 元素限制,在田间管理中应注意磷肥的施用。

关键词:菊芋叶片;化学计量特征;碳;氮;磷

中图分类号:S53;Q945.1 **文献标志码:**A

文章编号:1009-5500(2019)04-0072-06

C、N、P 是生物地球化学循环中的重要元素,在生态系统中占有重要地位,植物叶片 C、N、P 的生态化学计量学特征一直是生态学研究的一个热点。生态化学计量学分为两个基本理论,即内稳性理论和生长速率理论^[1],生态化学计量学是结合生物学、化学和物理学等基本原理,研究能量平衡和多种化学元素平衡的科学。特别强调活的有机体主要组成元素间的关系,尤其是碳(C)、氮(N)、磷(P)等重要元素间的计量关系。通常植物体内 C 的固定需要大量酶(N 库)的参与,而酶的装配需要大量核酸的复制(P 库)^[2-4]。植物在不同物候期主动通过各种代谢及生理生化反应调节体内 C、N、P 含量,使植物适应环境气候的变化,维持体内稳态平衡^[5-6]。通过对不同时间、空间、物种的 C、N、P

化学计量特征变化进行研究,有助于从元素平衡、循环角度阐明植物对生长环境的适应机制^[7-8]。

菊芋(*Helianthus tuberosus*)为菊科向日葵属多年生草本植物^[9],菊芋块茎中菊粉含量较高,在食品工业中有较多应用,与淀粉质原料相比具有很大的竞争优势^[10],块茎也是优质的能源利用材料,可以发酵生产乙醇、通过反应合成碳氢燃料等^[11-12]。提高菊芋块茎产量和品质是目前菊芋研究的热点问题^[13-18],菊芋叶片通过光合作用产生的同化物是块茎产量形成的基础。为了适应菊芋生长节律,调节叶片对光的吸收,提高叶片光合作用效率,探究不同生育时期叶片中各化学元素的平衡至关重要^[19]。科尔沁沙地是我国北方半干旱农牧交错带的典型代表区域,位于内蒙古东南部西辽河中下游赤峰市和通辽市之间。该地区强烈的风蚀造成土壤中黏粒结构减少,砂粒、石砾结构增加,土壤养分成为限制植物生长的主要因素^[20]。目前已经有较多关于化学计量特征的研究关注此地区,多见对樟子松的报道^[21-24],有关生长在科尔沁沙地的菊芋的研究较少,通过测定不同生育时期两个菊芋品种叶片中 C、N、P 化学计量特征的动态变化,试图阐明菊芋品种叶片中 C、N、P 化学计量特征在不同生育时期的变化规律以及科学地评判不同菊芋品种对科尔沁沙地贫瘠环境的适应性,为科尔沁沙地菊芋高质高产栽培

收稿日期:2018-11-26; **修回日期:**2019-05-05

基金项目:国家自然科学基金(31560672);内蒙古科技英才项目(NJYT15B17);内蒙古自治区青年创新拔尖人才项目(2015QNCXRCO2);内蒙古自治区草原英才项目(CYYC7025)资助

作者简介:高阳(1994-),男,内蒙古赤峰人,硕士研究生。

E-mail:673552248@qq.com

高凯为通讯作者。

E-mail:gaokai555@126.com

品种的选择提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

研究地点位于西辽河平原内蒙古民族大学农学院试验农场。地理位置 N 43°36', E 122°22', 海拔 178 m。试验地区为典型的温带大陆性季风气候, 年平均气温 6.4℃, 极端最低温 -30.9℃, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 3 184℃, 无霜期 150 d, 年均降水量 399.1 mm, 生长季(4~9 月)降水量占全年的 89%。试验地土壤为灰色草甸土, 为当地主要土壤类型, 土壤有机质含量 18.23 g/kg、碱解氮 62.41 mg/kg、速效磷 38.61 mg/kg、速效钾 184.58 mg/kg、pH 8.20。试验地具有井灌条件。

1.2 试验设计

2015 年 5 月种植菊芋, 品种为当地种植的小块茎品种‘红皮菊芋’和大块茎品种‘白皮菊芋’。种植密度为 50 cm×50 cm, 播种深度 15 cm。随机区组设计, 16 个小区, 每个小区 3 组重复, 共 48 个小区。选取重量为 30~40 g, 无病、无伤的块茎作种茎。出苗后进行间苗, 保证种植密度, 进行正常的田间除草、灌水等管理措施。

1.3 样品采集

根据菊芋生长发育规律, 对红皮菊芋和白皮菊芋进行随机取样, 取样时将菊芋齐地刈割后取下所有叶片。分别在 7 月 15 日、7 月 25 日、8 月 5 日、8 月 15 日、8 月 25 日、9 月 5 日、9 月 15 日和 9 月 25 日, 共取样 8 次, 每次 3 个重复。

每次取样后将叶片装袋, 带回实验室, 在 105℃ 下杀青 30 min, 75~80℃ 烘干至恒重后, 粉碎待测。

1.4 测定指标及方法

全碳的测定采用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{-H}_2\text{SO}_4$ 氧化法测定; 全氮的测定采用凯氏定氮法进行测定; 全磷的测定采用钼锑抗分光光度比色法测定^[25]。

1.5 数据分析

采用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 软件对数据进行统计分析。采用单因素方差分析法检验测定参数之间的差异。运用 Pearson 相关分析方法对 C、N、P、C/N、C/P 和 N/P 进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同取样时间对应的生育时期

与红皮菊芋相比, 白皮菊芋营养生长持续时间较

长, 9 月 5 日进入生殖生长; 而红皮菊芋 8 月 15 日就进入生殖生长, 一直持续到 9 月 25 日(表 1)。

表 1 不同取样时间对应的生育时期

Table 1 The summary of different sampling times corresponding to the growth period

取样时间 / (月-日)	白皮菊芋	红皮菊芋
07-15	营养生长初期	营养生长初期
07-25	营养生长旺盛期	营养生长旺盛期
08-05	营养生长旺盛期	营养生长晚期
08-15	营养生长晚期	现蕾期
08-25	营养生长晚期	初花期
09-05	现蕾期	盛花期
09-15	初花期	盛花期
09-25	盛花期	开花晚期

2.2 两个菊芋品种叶片 C 含量动态变化

不同菊芋品种叶片 C 含量在不同取样时间都表现出较大的波动性, 呈现“降-升-降-升”的变化趋势, 两品种叶片中 C 含量在 7 月 15 日, 8 月 5 日和 8 月 25 日差异显著 ($P < 0.05$); 白皮菊芋叶片中 C 含量在 7 月 15 日和 9 月 25 日显著高于其他取样时间 ($P < 0.05$), 其他时期两者之间没有显著差异 ($P > 0.05$); 红皮菊芋叶片中 C 含量最大值出现在 8 月 25 日, 为 37.62, 最小值出现在 7 月 25 日, 为 15.99, 与其他时期差异显著 ($P < 0.05$)(图 1)。

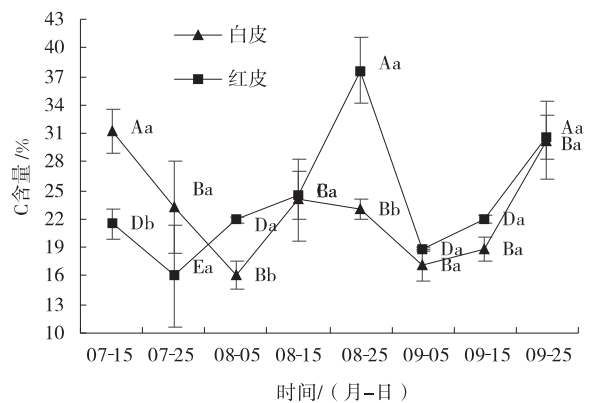


图 1 菊芋品种叶片的 C 含量

Fig. 1 Dynamic changes of C content in different varieties of Jerusalem artichoke

注: 不同大写字母表示相同品种不同取样时间差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示相同取样时间不同品种差异显著 ($P < 0.05$), 下同

2.3 两个菊芋品种叶片 N 含量动态变化

白皮和红皮菊芋叶片 N 含量具有相同变化规律,随着取样时间的推移呈“降-升-降-升-降”的变化规律,且不同品种之间叶片 N 含量无显著差异($P>0.05$);白皮菊芋叶片中 N 含量最大值出现在 7 月 15 日,显著高于其他取样时间($P<0.05$),7 月 25 日、8 月 15 日、9 月 5 日、9 月 15 日和 9 月 25 日之间叶片中 N 含量无显著差异($P>0.05$),8 月 5 日、8 月 25 日 N 含量显著低于其他取样时间($P<0.05$);红皮菊芋 N 含量最大值出现在 9 月 5 日,为 1.57,最小值出现在 8 月 25 日,为 0.45,与其他取样时间相比差异显著($P<0.05$)(图 2)。

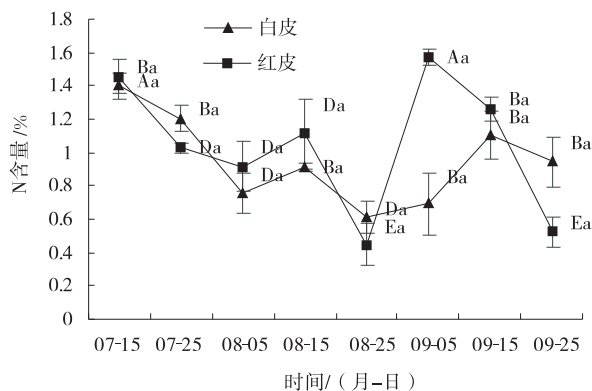


图 2 两个菊芋品种叶片的 N 含量

Fig. 2 Dynamic changes of N content in different varieties of Jerusalem artichoke

2.4 两品种菊芋叶片 P 含量动态变化

两品种菊芋叶片中 P 含量在各取样时间表现出不同的变化规律,两品种在各取样时间内未表现出显著差异($P>0.05$);其中红皮菊芋叶片中 P 含量波动幅度较小,各取样时间之间没有显著差异($P>0.05$),最大值和最小值分别在 7 月 25 日和 9 月 15 日出现,分别为 0.035% 和 0.029%;而不同取样时间白皮菊芋波动较大,总体呈现“降-升-降-升-降”的趋势,最大值出现在 9 月 15 日,为 0.039,显著高于其他取样时间($P<0.05$),7 月 15 日、7 月 25 日、8 月 5 日、8 月 15 日和 9 月 25 日之间没有显著差异($P>0.05$),最小值在 8 月 25 日出现,显著低于除 9 月 5 日外其他时间(图 3)。

2.5 两品种菊芋叶片中 C/N 动态变化

不同取样时间白皮菊芋和红皮菊芋叶片中 C/N 表现出一致的变化规律,都呈现“升-降-升”的变化趋势;白皮和红皮菊芋 C/N 最大值都出现在 8 月 25 日,分别为 42.8 和 88.8,显著高于其他取样时间($P<$

0.05),其次是 9 月 25 日;不同品种之间比较,红皮菊芋叶片 C/N 在 7 月 15 日、7 月 25 日、8 月 15 日和 9 月 5 日低于白皮菊芋,其他时间都是白皮菊芋较低,但除了 7 月 15 日、8 月 25 日和 9 月 25 日差异显著外($P<0.05$),各取样时间差异都不显著($P>0.05$)(图 4)。

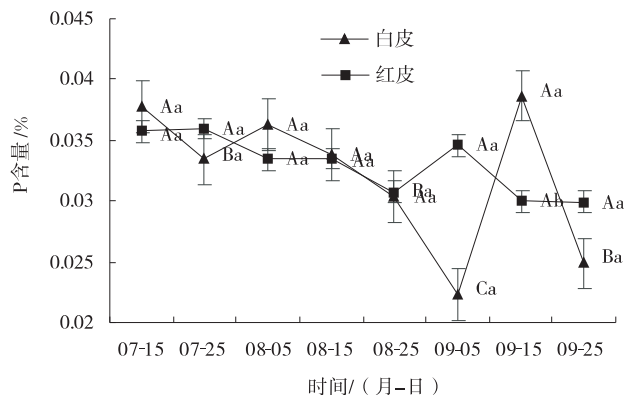


图 3 两个菊芋品种叶片的 P 含量

Fig. 3 Dynamic changes of P content in different varieties of Jerusalem artichoke

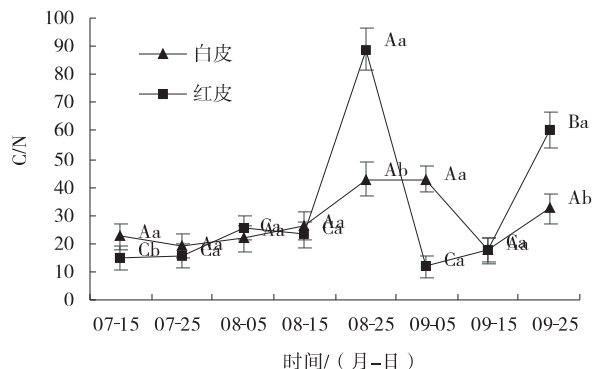


图 4 两个菊芋品种叶片的 C/N

Fig. 4 Dynamic changes of C/N content in different varieties of Jerusalem artichoke

2.6 两个菊芋品种叶片 C/P 动态变化

不同取样时间菊芋叶片中 C/P 表现出一致的变化规律,随着取样时间的推移,都呈现“降-升-降-升”的变化趋势,两品种之间比较,红皮菊芋 C/P 在 7 月 15 日、7 月 25 日、9 月 5 日和 9 月 15 日、9 月 25 日低于白皮菊芋,叶片中 C/P 在 7 月 15 日、7 月 25 日和 8 月 5 日有显著差异($P<0.05$),其他时间差异不显著;不同取样时间,红皮菊芋最大值出现在 8 月 25 日,为 1 243.72,白皮菊芋最大值出现在 9 月 25 日,为 1 567.38,与其他时间差异显著($P<0.05$),其他取样时间没有显著规律(图 5)。

2.7 两个菊芋品种叶片 N/P 动态变化

不同取样时间菊芋品种 N/P 变化规律不同,白皮

菊芋和红皮菊芋在 8 月 25 日, 9 月 15 日和 9 月 25 日表现出显著差异 ($P < 0.05$), 其他时间差异不显著; 不同取样时间, 白皮菊芋最大值出现在 8 月 25 日, 为 61.22, 最小值出现在 8 月 5 日, 为 20.84, 与其他取样时间相比没有显著差异 ($P > 0.05$); 红皮菊芋最大值出现在 9 月 5 日, 为 46.37, 显著高于其他取样时间 ($P < 0.05$), 8 月 25 日和 9 月 25 日叶片中 N/P 显著低于其他取样时间 ($P < 0.05$) (图 6)。

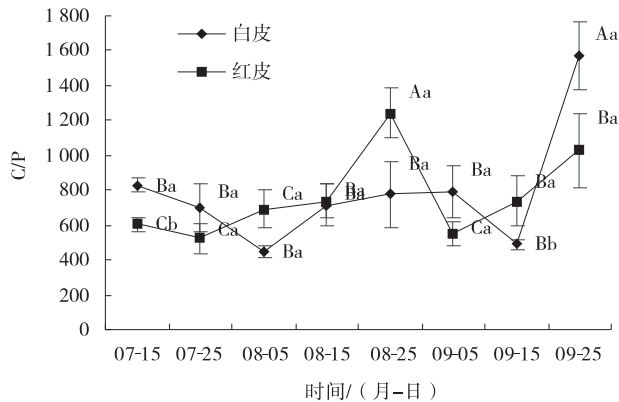


图 5 两个菊芋品种叶片的 C/P

Fig. 5 Dynamic changes of C/P content in different varieties of Jerusalem artichoke

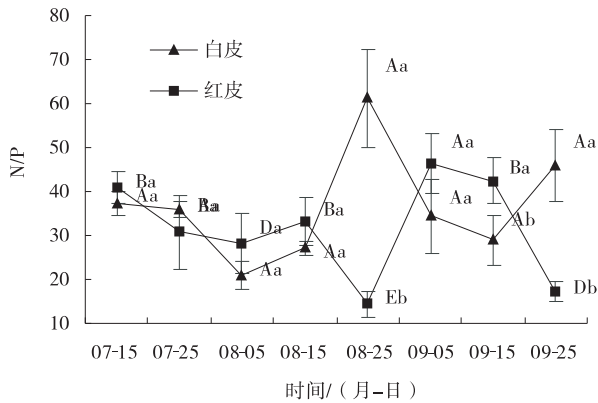


图 6 两个菊芋品种叶片的 N/P

Fig. 6 Dynamic changes of N/P content in different varieties of Jerusalem artichoke

3 讨论

科尔沁沙地存在水分亏缺, 营养元素匮乏等环境条件限制, 研究耐旱耐贫瘠植物菊芋的叶片的化学计量特征对指导科尔沁沙地植物栽培和养分利用有重要意义。生长在科尔沁沙地的两个菊芋品种经过多年的适应性进化形成了不同的养分利用和运移策略, 探讨和比较它们的化学计量特征有助于更深入地了解菊芋生理生态变化, 为菊芋在科尔沁沙地的高产高质栽培

提供思路。

研究中, 除红皮菊芋初花期外, 不同生育时期菊芋叶片中 C 含量变化不大, 说明 C 元素在菊芋不同生育时期叶片中的储存和运移基本保持平衡状态, 也证明了作为植物生长的结构性物质, C 元素在叶片中也具有稳定性^[26]; 8 月 25 日红皮菊芋 C 含量值最大, 是因为此时红皮菊芋处于初花期, 营养生长期叶片产生的光合产物还未来得及向地下大量运输而暂时储存在叶片中, 造成 C 元素含量的升高, 8 月 25 日~9 月 5 日 C 含量迅速下降也证明了这一点; 而白皮菊芋 C 含量最大值出现在 8 月 15 日营养生长晚期, 说明两品种菊芋在不同生育时期营养物质分配策略不同, 白皮菊芋进入生殖生长比红皮菊芋早, 这是由两品种菊芋的基因型决定。叶片作为光合作用的主要反应场所, 需要大量 N 元素和 P 元素的参与完成光反应与暗反应^[27], 试验中, 营养生长期两品种菊芋 N、P 含量都呈逐渐下降的变化趋势, 进入生殖生长期后未表现出规律性。这与徐倩等^[20]对甘薯的研究结果一致^[28], 表明植物在营养生长期需要大量 N、P 元素合成蛋白质等营养物质参与光合作用, 而科尔沁沙地土壤营养匮乏, 不能满足菊芋生长发育需求, 造成叶片中 N、P 含量的下降; N、P 作为植物中存在的稳定元素, 两者关系十分密切^[29], 但关于两品种菊芋进入生殖生长期后 N、P 含量波动较大, 没有一致变化规律的原因还有待进一步研究。

试验研究表明, C/N 白皮菊芋为 17.57~42.83, 红皮菊芋为 11.88~88.78, C/P 白皮菊芋 442.45~1567.39, 红皮为 521.99~1243.72, N/P 白皮菊芋为 20.84~61.21, 红皮为 14.52~46.36, 说明不同生育时期叶片中 C/P 变化较大而 C/N、N/P 变化较小, 这与李红琴在矮蒿草研究中得出的结论相似^[30]。两品种菊芋比较, C/P 在不同取样时间变化规律一致, 最大值都出现在 8 月 25 日, 这可能是由于进入生殖生长期, 块茎的形成需要大量的 P 元素用于块茎的建成, 导致叶片中 P 含量减少而表现为 C/P 值的增加; 有研究表明, 当 $N/P < 10$ 时, 植物生长发育受 N 元素调控, 而当 $N/P > 20$ 时, 受 P 元素调控^[31]; 还有研究表明其阈值在 14~16 之间, $N/P < 14$ 则受 N 元素制约, 而 > 16 则受 P 元素制约^[32]。试验中白皮菊芋 N/P 最大值出现在 9 月 5 日, 红皮菊芋出现在 9 月 15 日, N/P 值均大于 20, 说明 P 元素是影响科尔沁沙地菊芋生长的限

制元素。

4 结论

不同生育时期白皮和红皮菊芋 C 含量变化不大,两品种之间在 7 月 15 日、8 月 5 日和 8 月 25 日有显著差异,说明 C 作为结构性物质在菊芋体内较为稳定,不同生物时期两个菊芋品种对 C 元素利用规律不同;N 元素和 P 元素在不同品种和生育时期之间差异不显著,说明两品种对 N 和 P 的利用规律相似,两个菊芋品种 C/N、C/P、N/P 表现出不同变化规律,且 P 元素是限制科尔沁沙地菊芋生长的主要元素。

参考文献:

- [1] 郝梦波,王空军,董树亭,等. 高产玉米叶片冗余及其对产量和光合特性的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(2):344-350.
- [2] 曾昭霞,王克林,刘孝利,等. 桂西北喀斯特森林植物凋落物-土壤生态化学计量特征[J]. 植物生态学报,2015,39(7):682-693.
- [3] 曾德慧,陈广生. 生态化学计量学:复杂生命系统奥秘的探索[J]. 植物生态学报,2005,29(6):1007-1019.
- [4] 刘超,王洋,王楠,等. 陆地生态系统植被氮磷化学计量研究进展[J]. 植物生态学报,2012,36(11):1205-1216.
- [5] 刘文亨,卫智军,吕世杰,等. 中国草原生态化学计量学研究进展[J]. 草地学报,2015,23(5):914-926.
- [6] 肖遥,陶冶,张元明. 古尔班通古特沙漠 4 种荒漠草本植物不同生长期的生物量分配与叶片化学计量特征[J]. 植物生态学报,2014,38(9):929-940.
- [7] 陈亚南,马露莎,张向茹,等. 陕西黄土高原刺槐枯落叶生态化学计量学特征[J]. 生态学报,2014,34(15):4412-4422.
- [8] 宋彦涛,周道玮,李强,等. 松嫩草地 80 种草本植物叶片氮磷化学计量特征[J]. 植物生态学报,2012,36(3):222-230.
- [9] 隆小华,刘兆普,蒋云芳,等. 海水处理对不同产地菊芋幼苗光合作用及叶绿素荧光特性的影响[J]. 植物生态学报,2006,30(5):827-834.
- [10] 黄玉玲. 产菊粉酶菌株的筛选及发酵生产乙醇的性能比较[D]. 南京:南京农业大学,2012.
- [11] 寇一翮,吕世奇,刘建全,等. 寡糖类能源植物菊芋及其综合利用研究进展[J]. 生命科学,2014,26(5):451-457.
- [12] 兰竹. 3 年生闽楠幼林不同种源 C、N、P 生态化学计量特征[D]. 武汉:中南林业科技大学,2017.
- [13] 陈荣健. 不同环境因素对菊芋生长和繁殖策略的影响[D]. 兰州:兰州大学,2017.
- [13] 门果桃,张宇,邓忠泉,等. 密度、基肥、追肥对菊芋产量的影响[J]. 北方农业学报,2016,44(4):41-45.
- [15] 杨彬. 种薯大小与施肥对能源植物菊芋生长的影响[D]. 兰州:兰州大学,2016.
- [16] 乌日娜. 根系切割对菊芋块茎生物产量及品质的影响[D]. 通辽:内蒙古民族大学,2015.
- [17] 朱铁霞,高凯,王琳,等. 断根对菊芋 C、N、P 化学计量特征的影响[J]. 内蒙古民族大学学报(自然汉文版),2017,32(5):412-417.
- [18] 高凯,朱铁霞,刘辉,等. 去除顶端优势对菊芋器官 C、N、P 化学计量特征的影响[J]. 生态学报,2017,37(12):4142-4148.
- [19] 吕朋,左小安,张晶,等. 科尔沁沙地退化植被恢复过程中碳氮化学计量特征的变化[J]. 干旱区地理,2019,42(3):606-614.
- [20] 宁志英,李玉霖,杨红玲,等. 科尔沁沙地主要植物细根和叶片碳、氮、磷化学计量特征[J]. 植物生态学报,2017,41(10):41-52.
- [21] 王凯,沈潮,孙冰,等. 干旱胁迫对科尔沁沙地榆树幼苗 C、N、P 化学计量特征的影响[J]. 应用生态学报,2018,29(7):2286-2294.
- [22] 任悦,高广磊,丁国栋,等. 沙地樟子松人工林叶片-枯落物-土壤氮磷化学计量特征[J]. 应用生态学报,2019,30(1):743-750.
- [23] 赵姗宇,黎锦涛,孙学凯,等. 樟子松人工林原产地与不同自然降水梯度引种地土壤和植物叶片生态化学计量特征[J]. 生态学报,2018,38(20):7189-7197.
- [24] 淑敏,姜涛,王东丽,等. 科尔沁沙地不同林龄樟子松人工林土壤生态化学计量特征[J]. 干旱区研究,2018,35(4):789-795.
- [25] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2003.
- [26] 吴君君. 人工针叶林生态系统凋落物输入调控对土壤有机碳动态和稳定性的影响[D]. 武汉:中国科学院武汉植物园,2017.
- [27] 薄香兰,刘兴,窦勇,等. 不同氮磷比对小球藻叶绿素荧光参数及生长的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(2):169-172.

- [28] 徐倩,段文学,张海燕,等. 施氮量对鲜食型甘薯根系生长与干物质积累分配的影响[J]. 山东农业科学, 2018, 50(8):86-90.
- [29] 宁书菊,韩娜,林文津,等. 栽培密度对亳州桔梗生长生理特性的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(28):13-18.
- [30] 李红琴,毛绍娟,祝景彬,等. 放牧强度对高寒草甸群落碳氮磷化学计量特征的影响[J]. 草业科学, 2017, 34(3): 449-455.
- [31] 朱蓉,张洪海,张婧,等. 不同氮磷比和铁浓度对两种海洋微藻生产二甲基硫和二甲基巯基丙酸内盐的实验研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2018, 48(12):62-70.
- [32] 姚凯,敖家林,徐德. 花江峡谷岩生草本植物群落及其氮磷计量特征[J]. 生态与农村环境学报, 2019, 35(2):197-204.

Stoichiometry traits of C, N and P of two jerusalem artichoke leaves in Horqin sandy land

GAO Yang, GAO Kai, WANG Lin, LI Tian-qi, ZHAO Li-xing

(*Engineering Research Center of Forage Crops of Inner Mongolia Autonomous, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028043, China*)

Abstract: Taking red skin and white skin Jerusalem artichoke leaves at different growth stages as research objects, the dynamic changes of C, N and P stoichiometric characteristics of Jerusalem artichoke leaves were studied by measuring C, N and P contents in leaves and calculating C/N, C/P and N/P ratios. The results showed that the C and N contents in the leaves of two kinds of Jerusalem artichoke showed the trend of ‘down-up-down-up’. The P content in different growth stages showed different size relationships: C/N range of white Jerusalem artichoke was 17.57~42.80, and red Jerusalem artichoke was 11.88~88.78; C/P range of white Jerusalem artichoke was 442.40~1567.39, red Jerusalem artichoke 521.49-1243.72; N/P range of white Jerusalem artichoke was 10.84~61.21, and red Jerusalem artichoke was 14.52~46.36. This indicates that the growth of chrysanthemum grown in Horqin sandy land is mainly limited by P element. In field management, attention should be paid to the application of phosphorus fertilizers to create conditions for high-quality and high-yield cultivation of Jerusalem artichoke in Horqin sandy land.

Key words: jerusalem artichoke; leaf; stoichiometric characteristics; carbon; nitrogen; phosphorus