

于健龙,胡 辉,杨 波,等. 施肥对脱毒马铃薯氮、磷、钾化学计量特征及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(1):122-125.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.01.033

施肥对脱毒马铃薯氮、磷、钾化学计量特征及产量的影响

于健龙,胡 辉,杨 波,杨永奎,梁燕菲

(贵州省毕节市土肥站,贵州毕节 551700)

摘要:生态化学计量学是研究植物体养分供应平衡的重要方法,以脱毒马铃薯威芋3号为试验材料,采用完全随机试验设计,研究了配方施肥(T1)、缺氮(T2)、缺磷(T3)、缺钾(T4)施肥处理对脱毒马铃薯产量,地上部、块茎全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)养分及化学计量特征的影响。结果表明,T1处理的脱毒马铃薯产量和薯质量都为最大值,分别为29 920 kg/hm²、0.62 kg/穴,且脱毒马铃薯地上部TN、TP、TK单位养分含量和养分吸收总量都为最大值,分别为24.46、1.80、38.36 g/kg和122.28、16.02、174.06 kg/hm²。而不同处理的马铃薯块茎TN、TP、TK养分含量差异不显著。进一步研究发现,T1处理的马铃薯地上部N/P最小值为13.64,显著低于其他处理。不同处理的马铃薯块茎N/P则差异不显著。结果表明,施肥能显著影响脱毒马铃薯产量、地上部TN、TP、TK养分含量和化学计量特征,而对块茎TN、TP、TK养分含量和化学计量特征则影响不显著。

关键词:生态化学计量;马铃薯;施肥

中图分类号:S532.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)01-0122-04

生态化学计量学是研究生物系统能量平衡和多重化学元素(C、N、P)比例关系的科学^[1]。生态化学计量学认为有机体是由多种化学元素组成的,由于有机体自身生物性状的相对稳定,因此其体内的化学元素组成保持相对恒定^[2]。但是,有机体的生长又受到外部环境的影响,如气候、地质等,外

部环境的变化使得有机体自身化学元素组成发生相应的变化^[3]。由于生态化学计量学通过化学元素计量特征,能把不同尺度、不同生物群系的生态生物学特征联系起来,使得生态化学计量学成为当今生态学研究的重要方法^[4]。

目前,国内学者关于生态化学计量学的研究主要集中在两个方向,一是探讨大尺度下,植物叶片C、N、P化学计量变化及其影响因子,任书杰等分析了中国东部南北样带654种植物叶片N和P的化学计量特征,指出叶片N和P与纬度和年均温度存在显著相关关系^[5]。Han等则首次分析了我国1 900多种植物叶片N、P等元素的化学计量特征,指出N、P

收稿日期:2015-01-22

基金项目:贵州省马铃薯省级技术推广与培训专项(编号:黔财农[2012]209号、黔农办发[2012]209号)。

作者简介:于建龙(1985—),男,湖北恩施人,硕士,农艺师,主要从事作物施肥技术推广工作。E-mail:yujianlong2013@163.com。

[10]王启现,王 璞,杨相勇,等. 不同施氮时期对玉米根系分布及其活性的影响[J]. 中国农业科学,2003,36(12):1469-1475.

[11]魏成熙,赵品仁,孙贵恒,等. 玉米覆盖栽培对土壤物理性质和玉米干物质积累与分配的影响[J]. 耕作与栽培,1998(1):32-34.

[12]远红伟,陆引罡,刘均霞,等. 不同耕作方式对玉米生理特征及产量的影响[J]. 华北农学报,2007,22(增刊1):140-143.

[13]杨祁峰,岳 云,熊春蓉,等. 不同覆膜方式对陇东旱塬玉米田土壤温度的影响[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(6):29-33.

[14]张万文,王 萍,王彦华,等. 春玉米地膜覆盖增产因素研究[J]. 杂粮作物,2000,20(2):28-30.

[15]Stone P J, Sorensen I P. Effect of oild temperature on phenology, canopy development, biomass and yield of maize in a cool-temperature climate[J]. Field Crops Research, 1999, 63(2):169-178.

[16]王罕博,龚道枝,梅旭荣,等. 覆膜和露地旱作春玉米生长与蒸散动态比较[J]. 农业工程学报,2012,28(22):88-94.

[17]李 兴,程满金,勾芒芒,等. 黄土高原半干旱区覆膜玉米土壤温度的变异特征[J]. 生态环境学报,2010,19(1):218-222.

[18]Chimner R A. Soil respiration rates of tropical peatlands in Micronesia and Hawaii[J]. Wetlands, 2004, 24(1):51-56.

[19]O'Connell K B, Gower S T, Norman J M. Net ecosystem production of two contrasting boreal black spruce forest communities[J]. Ecosystems, 2003, 6(3):248-260.

[20]高玉红,牛俊义,闫志利,等. 不同覆膜栽培方式对玉米干物质积累及产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2012,20(4):440-446.

[21]吴凌波,高聚林,木 兰,等. 不同覆膜方式对玉米表土层土壤含水量、产量和水分利用效率的影响[J]. 内蒙古农业科技,2007(3):18-20.

[22]Liu C A, Jin S L, Zhou L M, et al. Effects of plastic film mulch and tillage on maize productivity and soil parameters[J]. European Journal of Agronomy, 2009, 31(4):241-249.

[23]黄高宝,张恩和,胡恒觉. 不同玉米品种氮素营养效率差异的生态生理机制[J]. 植物营养与肥料学报,2001,7(3):293-297.

[24]李永祥,王 阳,石云素,等. 玉米籽粒构型与产量性状的关系及QTL作图[J]. 中国农业科学,2009,42(2):408-418.

等限制性元素在植物体内相对稳定,对环境变化的响应也相对稳定^[6]。二是探讨小尺度下,植物叶片 C、N、P 和土壤 C、N、P 化学计量特征与外界环境因子的关系,研究主要集中在森林、草地生态系统方面。罗亚勇等探讨了不同退化程度土壤 C、N、P 的化学计量变化^[7],刘万德等则分析了云南常绿阔叶林演替系列植物和土壤 C、N、P 化学计量特征^[8]。

而作为陆地生态系统的重要部分,以农田生态系统为研究对象,探讨外界因子对农作物化学计量特征影响的报道并不多,这方面的研究主要集中在叶菜类作物方面,袁伟等通过盆栽试验、田间试验分析了不同施肥模式对小青菜 (*Brassia chinensis*)、菠菜 (*Spinacia oleracea*)、番茄 (*Lycopersicon esculentum*) 化学计量特征的影响,发现同一蔬菜对不同施肥模式的响应并不一致,不同蔬菜对施肥的响应也完全不同^[9-11]。显然,探讨不同农作物养分化学计量特征对施肥的响应,对指导施肥和养分供应平衡的研究都具有一定的现实意义,而关于施肥对块茎类作物的影响则鲜见报道。本试验以脱毒马铃薯威芋 3 号为材料,研究了不同施肥水平对脱毒马铃薯产量及 N、P、K 养分化学计量特征的影响,以期对脱毒马铃薯的优化施肥和化学计量特征研究提供数据参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2013 年在贵州省金沙县安洛乡进行。安洛乡平均海拔高度 1 200 m,气候温和,年均气温 15.5 ℃,年均降水量 1 010 mm,无霜期 280 d。脱毒马铃薯品种为威芋 3 号。尿素为贵州赤天化股份有限公司的产品 (N≥46%),钙镁磷肥为贵阳瓮福集团有限公司的产品 (P₂O₅≥12%),硫酸钾为浙江远安公司的产品 (K₂O≥52%)。本研究根据中等肥力土壤条件下,贵州脱毒马铃薯测土配方施肥数据,制定氮肥、磷肥、钾肥最优施肥量,选用以上单质肥料混配而成的配方肥。试验地为沙质土壤,前茬玉米。耕层土壤养分情况见表 1。

表 1 试验地土壤基本养分状况

土壤有机质 (g/kg)	土壤全氮 (g/kg)	土壤速效磷 (mg/kg)	土壤速效钾 (mg/kg)	pH 值
34.72	2.33	16.85	154.70	6.50

1.2 试验方法

试验设 5 个处理,分别为 T1:配方肥处理;T2:缺氮处理;T3:缺磷处理;T4:缺钾处理;对照 (CK):不施肥处理。具体施肥量见表 2。每个处理设 3 次重复,完全随机设计,共 15 个小区,小区面积 24 m²,1 m 开厢,沟深 0.3 m,每小区开 4 厢,每厢栽 2 行,每行 22 穴,行距 0.50 m、株距 0.273 m,每小区共 176 穴。试验过程中,有机肥和化肥均以基肥的形式施入,不施追肥。

表 3 不同施肥水平脱毒马铃薯产量和薯质量

处理	马铃薯质量(kg/穴)					产量 (kg/hm ²)
	地上部鲜质量	薯质量	大薯	中薯	小薯	
T1	0.25±0.005 9a	0.62±0.023a	0.21±0.005 8b	0.18±0.008 8a	0.24±0.008 8a	29 920.00±1 120a
T2	0.11±0.005 8c	0.36±0.010c	0.12±0.002 9c	0.13±0.005 8c	0.11±0.002 9d	17 088.00±492.63c
T3	0.18±0.001 3b	0.58±0.014a	0.26±0.002 9a	0.15±0.006 7b	0.17±0.005 8b	27 680.00±688.56a
T4	0.16±0.005 8b	0.41±0.018b	0.14±0.004 2c	0.13±0.006 1c	0.14±0.008 8c	19 712.00±861.01b
CK	0.17±0.004 2b	0.38±0.010c	0.14±0.003 3c	0.10±0.003 3d	0.10±0.004 2d	16 832.00±484.25c

注:数据为平均值±标准误,同列数据后不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。表 4、表 5 同。

表 2 不同处理施肥量

处理	施肥量(kg/hm ²)		
	尿素	钙镁磷肥	硫酸钾
T1	321	750	417
T2	0	750	417
T3	321	0	417
T4	321	750	0
CK	0	0	0

1.3 测定项目及方法

1.3.1 测产及考种 待马铃薯成熟时,收获前在小区内按照梅花形采集 5 穴马铃薯考种,地上部为植株鲜质量,马铃薯块茎按照大薯(>100 g)、中薯(>50~100 g)、小薯(≤50 g)分级标准进行分级,并称质量。

考种后,适时分小区进行单独采收,收获前调查小区内缺窝数、变异株等,确定小区最终收获穴数,全部收获计产,折算实际产量。根据小区产量计算单位面积产量。

1.3.2 土样及植株取样 试验开展前,在试验点按照蛇形布点原则,用土钻钻取 0~30 cm 土层,取样点不少于 20 个,采集的土样混匀,风干后测定土壤全氮、土壤有机质、土壤速效磷、土壤速效钾和 pH 值。收获时,在每个小区随机采集 5 穴马铃薯,将采集的马铃薯块茎和地上部茎叶分别放在烘箱中烘干,测定植物全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)含量,测定方法按常规方法^[12]。

1.4 统计分析

试验数据采用 Excel 2007 进行统计,采用 SPSS 13.0 (SPSS Inc USA)软件的单因素 ANOVO 的新复极差法分析数据的差异显著性,所有数据都参照严正兵等的处理方法^[13],通过对数转换以符合正态分布,后采用 SPSS13.0 双变量 Person 相关分析模块进行相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥水平对脱毒马铃薯产量的影响

从表 3 可以看出,不同施肥水平下,脱毒马铃薯薯质量和产量不同,表现出 T1 和 T3 处理的薯质量,大、中、小薯质量和产量显著高于其他处理。其中,T1 处理的脱毒马铃薯产量最大,为 29 920 kg/hm²,与 T3 处理差异不显著,较 T2、T4、CK 处理分别显著增加了 75.09%、51.79%、77.57%;T1 处理的薯质量最大,为 0.62 kg/穴,与 T3 处理差异不显著,而显著高于 T2、T4、T5 处理,CK 的薯质量最小。T1 处理的中薯质量、小薯质量都最大,分别为 0.18 kg/穴、0.24 kg/穴,显著高于 T2、T3、T4、CK 处理。T3 处理的大薯质量最大,为 0.26 kg/穴,显著高于 T1、T2、T4、CK 处理。T1 处理的地上部鲜质量最大,为 0.25 kg/穴,显著高于其他处理。

2.2 不同施肥水平对脱毒马铃薯 TN、TP、TK 含量和养分吸收总量的影响

不同施肥水平下,脱毒马铃薯地上部、块茎单位 TN、TP、TK 含量和养分吸收总量变化见表 4。地上部分 T1 处理的脱毒马铃薯 TN、TP、TK 单位养分含量都为最大值,分别为 24.46、1.80、38.36 g/kg,其中 T1 处理的 TN 与 T4 处理、TK 与 T3 处理间差异不显著,而显著高于其他处理,较 CK 处理分别增加了 64.49%、89.47%、150.39%。而且 T1 处理的 TP 也显著高于其他处理,CK 处理的脱毒马铃薯地上部 TN、TP、

TK 都为最小。

不同施肥水平脱毒马铃薯块茎 TN、TP、TK 则变化相似,除了 T2 处理的 TP 显著高于 CK 处理外,不同施肥水平的 TN、TP、TK 差异不显著。

不同施肥水平下,脱毒马铃薯的 TN、TP、TK 养分吸收总量 T1 处理为最大值,分别为 122.28、16.02、174.06 kg/hm²,与 T3 处理差异不显著,而显著高于其他处理。T1 处理的 TN、TP、TK 养分吸收总量较对照增加了 76.15%、113.60%、92.01%。

表 4 不同施肥水平脱毒马铃薯 TN、TP、TK 含量比较

处理	地上部(g/kg)			块茎(g/kg)			养分吸收总量(kg/hm ²)		
	TN	TP	TK	TN	TP	TK	TN	TP	TK
T1	24.46±0.42a	1.80±0.056a	38.36±0.48a	12.88±1.21a	1.93±0.037ab	17.83±0.47a	122.28±12.77a	16.02±0.71a	174.06±8.71a
T2	16.89±0.22c	1.11±0.015c	32.90±1.28b	14.05±0.26a	2.13±0.13a	20.50±0.73a	66.59±3.12c	9.35±0.81b	101.20±0.36b
T3	18.13±0.23b	1.00±0.021c	38.86±0.12a	14.09±0.35a	1.92±0.17ab	20.45±0.85a	109.48±4.70a	13.64±1.29a	169.83±7.94a
T4	24.52±0.74a	1.45±0.060b	24.34±1.14c	14.00±0.39a	1.83±0.15ab	18.75±0.89a	84.91±2.16b	9.76±0.72b	107.20±4.95b
CK	14.87±0.47d	0.95±0.020c	15.32±0.30d	14.10±1.23a	1.66±0.11b	19.25±1.18a	69.42±6.63c	7.50±0.60b	90.65±6.72b
总体平均值	19.77±0.42b	1.26±0.087bc	29.96±2.42b	13.82±0.33a	1.89±0.064ab	19.36±0.42a	90.54±6.44b	11.25±0.89ab	128.59±9.88b

2.3 不同施肥水平对脱毒马铃薯 N、P、K 化学计量特征的影响

从表 5 可以看出,不同施肥水平下,地上部脱毒马铃薯的 N、P、K 化学计量特征明显不同。地上部 N/P 总体平均值为 15.93,在 13.64~18.22 范围,CV 为 0.11,其中 T3 处理的地上部 N/P 最大,为 18.22,显著高于其他处理,而 T1 处理的 N/P 则最小,为 13.64。N/K 总体平均值为 0.72,在 0.47~1.01 范围,CV 为 0.33,其中 T4 处理的 N/K 最大,为 1.01,与 CK 处理间差异不显著,而显著高于 T1、T2、T3 处理。P/K 总体

平均值为 0.046,在 0.026~0.062 之间,CV 为 0.33,其中 T4 与 CK 处理间的 P/K 差异不显著,而显著高于 T1、T2、T3 处理。

不同施肥水平的马铃薯块茎养分化学计量特征差异不显著,其中 N/K 总体平均值为 0.72,CV 为 0.076,P/K 总体平均值为 0.22,CV 为 0.45。CK 处理的 N/P 为最大值,显著高于 T1、T2 处理,而与 T3、T4 处理差异不显著。

表 5 不同施肥水平脱毒马铃薯 N、P、K 化学计量特征

处理	地上部			块茎		
	N/P	N/K	P/K	N/P	N/K	P/K
T1	13.64±0.21c	0.64±0.016b	0.047±0.0017b	6.66±0.58b	0.72±0.051a	0.22±0.053a
T2	15.18±0.34b	0.52±0.027c	0.034±0.001c	6.64±0.31b	0.69±0.035a	0.26±0.091a
T3	18.22±0.55a	0.47±0.0071c	0.026±0.0004d	7.46±0.70ab	0.69±0.031a	0.22±0.079a
T4	16.88±0.40b	1.01±0.060a	0.060±0.004a	7.75±0.72ab	0.75±0.020a	0.20±0.066a
CK	15.74±0.59b	0.97±0.044a	0.062±0.0007a	8.47±0.22a	0.73±0.022a	0.20±0.0086a
平均值	15.93±0.45	0.72±0.063	0.046±0.003	7.40±0.28	0.72±0.014	0.22±0.026
CV	0.11	0.33	0.33	0.15	0.076	0.45

2.4 N、P、K 养分含量及化学计量特征的相关关系

从表 6 可以看出,氮肥与地上部 TN、TP、TK,薯质量和地上部鲜质量呈显著相关,而与块茎 TN、TP、TK 不呈显著相关。磷肥与地上部 TN、TP,地上部 N/P 呈显著相关,而与块茎 TN、TP、TK,薯质量和地上部鲜质量不呈显著相关。钾肥则与地上部 TK、块茎 TP 和薯质量呈显著相关。而地上部 N/P、N/K、P/K,块茎 N/P、N/K、P/K 则与薯质量和地上部鲜质量不呈显著相关。

3 讨论

施肥作为一种快速促进植物生长的重要措施,一直是各生态系统的研究热点。对于高寒草甸,虽然氮、磷肥添加能改变土壤 N、P 等养分含量,进而影响马先蒿(*Pedicularis kansuensi*)、莓叶委陵菜(*Potentilla ragarioides*)^[14]、金露梅(*Potentilla fruticosa*)^[15]等植物 N、P 含量,但由于植物自身的“调节

能力”,因而植物 N/P 无显著变化。而对于华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)^[16],单施氮、磷肥或配施氮磷肥,都能显著提高根茎叶 N、P 含量,但不同器官 N/P 响应施肥则完全不同,单施氮、磷肥能显著提高或降低根茎叶 N/P,而氮磷肥配施则影响不同。本研究结果,脱毒马铃薯地上部 TN、TP、TK、N/P、P/K 总体平均值分别为 19.77、1.26、29.96 g/kg,15.93、0.046,块茎 TN、TP、TK、N/P、P/K 总体平均值分别为 13.82、1.89、19.36 g/kg,7.40、0.22,低于小青菜^[9]、菠菜^[10]、番茄^[11]等农作物,而高于巨桉(*Eucalyptus grandis*)幼苗^[17]、华北落叶松^[16]等。表明不同农作物其 N、P、K 化学计量特征有明显差异。

脱毒马铃薯不同器官化学计量特征对施肥水平的响应完全不同,不同施肥水平下,地上部 TN、TP、TK 养分含量及化学计量特征呈显著差异,而块茎则差异不显著,本结果与张潘研究结论^[16]一致。原因在于植物体内的 N、P 之间关系密切,氮

表 6 TN、TP、TK 养分含量及化学计量特征的相关关系

	项 目	氮 肥	磷 肥	钾 肥	地上部					块茎					薯质量	地上部 鲜质量		
					TN	TP	TK	N/P	N/K	P/K	TN	TP	TK	N/P			N/K	P/K
地上部	氮肥	1	0.17	0.17	0.80 **	0.58 *	0.54 *	0.20	-0.08	-0.14	-0.15	0.03	-0.27	-0.13	0.09	-0.100	0.77 **	0.605 *
	磷肥		1	0.17	0.66 **	0.76 **	0.34	-0.51 *	0.04	0.20	-0.16	0.37	-0.25	-0.44	0.06	0.030	0.00	-0.04
	钾肥			1.00	0.06	0.14	0.89 **	-0.21	-0.93	-0.81	-0.14	0.52 *	0.18	-0.55 *	-0.37	0.100	0.58 *	0.15
	TN				1	0.91 **	0.43	-0.18	0.16	0.21	-0.17	0.20	-0.42	-0.30	0.23	0.009	0.53 *	0.50
	TP					1	0.39	-0.58 *	0.15	0.32	-0.30	0.15	-0.57 *	-0.34	0.23	0.032	0.49	0.57 *
	TK						1	-0.074	-0.82	-0.75 **	-0.16	0.48	0.10	-0.53 *	-0.32	-0.036	0.69 **	0.22
	N/P							1	-0.03	-0.34	0.37	0.043	0.51	0.21	-0.07	-0.057	-0.10	-0.36
块茎	N/K								1	0.95 **	0.06	-0.40	-0.38	0.39	0.49	0.046	-0.42	0.07
	P/K									1	-0.05	-0.39	-0.51	0.30	0.49	0.060	-0.37	0.17
	TN										1	0.20	0.66 **	0.50	0.57 *	0.273	-0.15	-0.26
	TP											1	0.27	-0.75 **	-0.04	0.492	0.15	-0.16
	TK												1	0.21	-0.24	-0.040	-0.18	-0.48
	N/P													1	0.42	-0.249	-0.23	-0.03
	N/K														1	0.395	0.01	0.19
	P/K															1	0.12	0.05
	薯质量																1	0.81 **
	地上部 鲜质量																	1

磷肥配施能增加叶中氮和磷的转化、吸收,单施氮、磷肥,虽然能增加植物 N、P 的含量,但缺素肥料则植物吸收减少,因此与缺磷处理相比,缺氮处理下,脱毒马铃薯地上部 N/P 是显著降低的。而在氮磷配施情况下,脱毒马铃薯能够快速生长,此时需要更多的磷素合成核糖体、蛋白质等^[18],因此对 P 的需求更高,因此 N/P 更低。

参考文献:

[1] Elser J J, Sterner R W, Gorokhova E, et al. Biological stoichiometry from genes to ecosystems[J]. Ecology Letters, 2000, 3 (6): 540 - 550.

[2] Kooijman S M. The stoichiometry of animal energetics[J]. Journal of Theoretical Biology, 1995, 177: 139 - 149.

[3] 甘秋妹. 大兴安岭北部不同植被退化阶段土壤和植物养分生态化学计量特征[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2013.

[4] 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): 141 - 153.

[5] 任书杰, 于贵瑞, 陶 波, 等. 中国东部南北样带 654 种植物叶片氮和磷的化学计量学特征研究[J]. 环境科学, 2007, 28 (12): 2665 - 2673.

[6] Han W X, Fang J Y, Reich P B, et al. Biogeography and variability of eleven mineral elements in plant leaves across gradients of climate, soil and plant functional type in China[J]. Ecology Letters, 2011, 14 (8): 788 - 796.

[7] 罗亚勇, 张 宇, 张静辉, 等. 不同退化阶段高寒草甸土壤化学计量特征[J]. 生态学杂志, 2012, 31 (2): 254 - 260.

[8] 刘万德, 苏建荣, 李帅锋, 等. 云南普洱季风常绿阔叶林演替系列

植物和土壤 C、N、P 化学计量特征[J]. 生态学报, 2010, 30 (23): 6581 - 6590.

[9] 袁 伟, 董元华, 王 辉. 菜园土壤不同施肥模式下小青菜生长和品质及其生态化学计量学特征[J]. 土壤, 2010, 42 (6): 987 - 992.

[10] 袁 伟, 董元华, 王 辉. 菠菜对不同施肥模式的响应及其生态化学计量学特征研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26 (10): 164 - 170.

[11] 袁 伟, 董元华, 王 辉. 不同施肥模式下番茄的生长及生态化学计量学特征[J]. 江苏农业科学, 2010 (2): 146 - 149.

[12] 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.

[13] 严正兵, 金南瑛, 韩廷申, 等. 氮磷施肥对拟南芥叶片碳氮磷化学计量特征的影响[J]. 植物生态学报, 2013, 37 (6): 551 - 557.

[14] 宾振钧, 王静静, 张文鹏, 等. 氮肥添加对青藏高原高寒草甸 6 个群落优势种生态化学计量学特征的影响[J]. 植物生态学报, 2014, 38 (3): 231 - 237.

[15] 陈凌云. 添加氮磷对亚高寒草甸金露梅群落各功能群化学计量学特征的影响[D]. 北京: 中国科学院大学, 2010.

[16] 张 潘. 施肥对华北落叶松人工林根茎叶氮磷含量及生态化学计量规律的影响[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.

[17] 刘 洋, 张 健, 陈亚梅, 等. 氮磷添加对巨桉幼苗生物量分配和 C : N : P 化学计量特征的影响[J]. 植物生态学报, 2013, 37 (10): 933 - 941.

[18] Elser J J, Acharya K, Kyle M, et al. Growth rate - stoichiometry couplings in diverse biota[J]. Ecology Letters, 2003, 6 (10): 936 - 943.