

植物生长调节物质对梭梭和肉苁蓉生长的调节作用

崔旭盛 郑雷 杜友 郭玉海*

(中国农业大学 农学与生物技术学院,北京 100193)

摘要 以梭梭、肉苁蓉为材料,研究了植物生长促进剂赤霉素和抑制剂矮壮素对梭梭和肉苁蓉生长的调节作用。结果表明:1)赤霉素促进梭梭地上部生长,单株梭梭生物量和非结构性碳水化合物总量分别提高30.8%和69.3%,却使肉苁蓉生物量降低10.7%;2)矮壮素抑制梭梭地上部生长,单株梭梭生物量和非结构性碳水化合物总量分别降低19.7%和18.7%,但能提高肉苁蓉生物量86.6%。结果显示矮壮素对提高肉苁蓉生物量具有调节作用。

关键词 梭梭; 肉苁蓉; 赤霉素; 矮壮素; 同化物

中图分类号 S 567

文章编号 1007-4333(2013)05-0083-07

文献标志码 A

Effect of plant growth regulators on the growth of *Haloxylon ammodendron* and *Cistanche deserticola*

CUI Xu-sheng, ZHENG Lei, DU You, GUO Yu-hai*

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract *Haloxylon ammodendron* and *Cistanche deserticola* were used to study the effects of gibberellin(GA) and chlormequat(CCC) on the growth of *H. ammodendron* and *C. deserticola*. The results showed that: 1) GA promoted the growth of *H. ammodendron*, the biomass and non-structural carbohydrates per plant were respectively increased by 30.8% and 69.3%, while the biomass of *C. deserticola* was decreased by 10.7%; 2) CCC inhibited the growth of *C. deserticola*, the biomass and non-structural carbohydrates per plant were respectively reduced by 19.7% and 18.7%, oppositely, the biomass of *C. deserticola* was increased by 86.6%. These findings suggested that CCC can regulate the growth of *C. deserticola*, and increase the biomass of *C. deserticola* as well.

Key words *Haloxylon ammodendron*; *Cistanche deserticola*; gibberellin; chlormequat; assimilates

根寄生植物肉苁蓉(*Cistanche deserticola* Ma)为著名的补益类药材,寄生于梭梭(*Haloxylon ammodendron*)根部^[1]。随着肉苁蓉化学成分、药理药效及作用机理的逐渐明晰^[2-5],肉苁蓉市场需求不断增加,野生资源已远不能满足人们对肉苁蓉产品的迫切需求,进行肉苁蓉的人工栽培是解决肉苁蓉资源匮乏并实现肉苁蓉合理开发利用的直接有效措施。

优质高产是目前肉苁蓉栽培面临的核心问题,肉苁蓉寄生生物学特性决定其必须依靠寄主梭梭供给的营养物质进行生长发育,并且梭梭体内的非结构性碳水化合物是肉苁蓉可利用物质的主要来

源^[6]。因此,通过合理的农艺措施调节梭梭生长及梭梭-肉苁蓉同化物的转运分配是肉苁蓉人工栽培的关键技术难题。目前,植物生长调节物质被广泛应用于作物生长和物质合成、转运和分配的调控^[7-10]。但是植物生长调节物质在寄生植物中的应用尚未见报道,通过生长调节物质的合理使用是否可以调节寄生植物/寄主植物复合体的生长、物质合成和转运分配是值得研究的重要问题。

本试验以梭梭和肉苁蓉为研究对象,通过生长促进剂赤霉素和抑制剂矮壮素的使用,研究植物生长调节物质对梭梭和肉苁蓉生长的调节作用,试图

收稿日期:2013-04-07

基金项目:国家“863”计划项目(2012AA021702-1)

第一作者:崔旭盛,博士研究生,E-mail:cuixushengangel@163.com

通讯作者:郭玉海,教授,主要从事药用作物栽培研究,E-mail:yhguo@cau.edu.cn

为肉苁蓉优质高产栽培提供一条新的调控途径。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

1.1.1 试验地点

内蒙古自治区巴彦淖尔市磴口县沙金苏木温都尔毛道嘎查,内蒙古王爷地苁蓉生物有限公司架子滩试验基地(东经 107°05',北纬 40°13')。

1.1.2 试验地气象条件

暖温带大陆性季风气候,年平均气温 7.6℃,极端最高气温 38.2℃,极端最低气温 -34.2℃,≥10℃积温 3 222.2℃,年降雨量为 135.8 mm,年蒸发量 3 620.0 mm,无霜期 145 d,年均日照时数为 3 289.5 h。

1.1.3 试验地土壤状况

试验地土壤基础数据见表 1。

表 1 土壤状况
Table 1 Soil conditions

元素 Element	N	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
含量 Content	451.5	195.6	6 750.4	1 489.6	15 828.1	4 590.4	10 534.8	196.0	28.9	33.4	34.0

1.2 试验材料及试验设计

1.2.1 试验材料

三年生梭梭(2009年4月种植,种苗来自内蒙古磴口县),接种1个肉苁蓉(2010年5月接种,肉苁蓉种源来自内蒙古磴口县),梭梭-肉苁蓉均在自然条件下生长。

1.2.2 试验处理

CK:每株梭梭每次叶面喷施 50 mL 蒸馏水。

处理一:每株梭梭每次叶面喷施 50 mL 质量浓度为 100 mg/L 的赤霉素溶液。

处理二:每株梭梭每次叶面喷施 50 mL 质量浓度为 100 mg/L 的矮壮素溶液。

1.2.3 处理时间

2012年5月10日、5月20日和5月30日分3次对梭梭进行处理。

1.2.4 试验设计

试验采用随机区组设计,每处理 30 株,重复 3 次。

1.2.5 取样时间

2012年10月10日。

1.2.6 样品处理

将梭梭-肉苁蓉复合体分解为梭梭光合枝(当年生的绿色光合器官)、梭梭茎秆(主茎和半木质化枝条)、梭梭根和肉苁蓉 4 部分。并用蒸馏水冲洗干净,置于烘箱中,80℃恒温烘干至恒重,并称重,样品粉碎过 40 目筛,备用^[11]。

1.3 测定指标及方法

干重测定采用称重法^[12]。

叶绿素的测定采用分光光度法^[13]。

可溶性总糖含量和淀粉含量的测定采用蒽酮比色法,非结构性碳水化合物总量=可溶性总糖+淀粉^[14]。

1.4 数据处理

数据采用 Excel 2003 和 DPS 7.05 软件进行数据处理及统计分析。

2 结果与分析

2.1 植物生长调节物质对梭梭生长影响

植物生长调节物质对梭梭生长的影响见表 2。与对照相比,矮壮素使梭梭株高、冠幅、基茎粗、

表 2 植物生长调节物质对梭梭生长影响

Table 2 Impact of plant growth regulators on the growth of *H. ammodendron*

处 理 Treatment	株高/cm Plant height	冠幅/cm Crown	基茎粗/mm Base stem diameter	光合枝数/条 Branches number	光合枝长/cm Branches length
对照 Control	107.6 b	104.2 b	17.8 b	47.7 b	40.8 b
矮壮素 Chlormequat	93.2 c	101.2 b	15.9 b	36.0 c	31.5 c
赤霉素 Gibberellin	150.9 a	125.4 a	24.6 a	54.5 a	66.9 a

注:表中不同小写字母表示 LSD 检验差异达显著水平($P < 0.05$),下同。

Note: There were significant differences between the different letters ($P < 0.05$) by LSD test, the same below.

光合枝数和光合枝长分别较对照降低 13.4%、2.9%、10.7%、24.5%、22.8%；赤霉素使梭梭株高、冠幅、基茎粗、光合枝数、光合枝长分别较对照升高 40.2%、20.4%、38.2%、14.3%、64.0%，并且差异均达显著水平 ($P < 0.05$)。结果表明，赤霉素促进梭梭地上部分生长，而矮壮素却抑制梭梭地上部分生长。

2.2 植物生长调节物质对梭梭叶绿素影响

植物生长调节剂物质对梭梭叶绿素的影响与调节物质种类密切相关(表 3)。与对照相比，矮壮素

使梭梭叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素和叶绿体总色素含量分别较对照提高 3.3%、3.1%、11.4% 和 5.8%；赤霉素使梭梭叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿体总色素含量分别较对照提高 0.6%、1.7% 和 0.4%，却使类胡萝卜素的含量较对照降低了 0.2%。此外，矮壮素对梭梭叶绿素 a/b 无影响，而赤霉素却使叶绿素 a/b 较对照降低了 1.1%。结果表明，矮壮素可使梭梭叶绿素含量大幅度的提高，这有利于提高梭梭对光合产物的固定能力。

表 3 植物生长调节物质对梭梭叶绿素含量的影响

Table 3 Impact of plant growth regulators on Chlorophyll content in *H. ammodendron* μg/g

处理方式 Treatment	叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chlorophyll b	叶绿素 a/b Chlorophyll a/b	类胡萝卜素 Carotenoids	叶绿体总色素 Chlorophyll content
对照 Control	346.49 a	74.43 a	4.66	197.67 a	618.59 a
矮壮素 Chlormequat	357.79 a	76.72 a	4.66	220.12 a	654.63 a
赤霉素 Gibberellin	348.54 a	75.66 a	4.61	197.34 a	621.25 a

2.3 植物生长调节物质对梭梭-肉苁蓉生物量影响

植物生长调节物质对梭梭各器官及肉苁蓉生物量产生影响(表 4)。矮壮素使单株梭梭生物量较对照降低 19.7%，其中梭梭光合枝、茎秆生物量分别较对照降低 13.1%、34.4%，梭梭根生物量较对照

提高 2.0%，肉苁蓉生物量较对照也显著提高 86.6% ($P < 0.05$)；赤霉素增加单株梭梭生物量 30.8%，其中梭梭光合枝、茎秆、根生物量分别较对照增加 13.7%、47.7%、39.0%，但肉苁蓉生物量较对照降低 10.7%。

表 4 植物生长调节物质对梭梭-肉苁蓉生物量影响

Table 4 Impact of plant growth regulators on the biomass of *H. ammodendron*-*C. deserticola*

处理方式 Treatment	指标 Index	光合枝 Photosynthetic sticks	茎秆 Stem	根 Root	肉苁蓉 <i>C. deserticola</i>	合计 Total
对照 Control	生物量/(g/株)	192.01 ab	166.92 b	54.14 b	34.58 b	447.65 b
	比例/%	42.89	37.29	12.09	7.73	100
矮壮素 Chlormequat	生物量/(g/株)	166.88 b	109.53 c	55.12 b	64.51 a	396.04 b
	比例/%	42.14	27.66	13.91	16.29	100
赤霉素 Gibberellin	生物量/(g/株)	218.34 a	246.53 a	75.27 a	30.87 b	571.01 a
	比例/%	38.24	43.17	13.18	5.41	100

梭梭-肉苁蓉各器官生物量所占比例也受植物生长调节物质的影响，矮壮素使梭梭光合枝、茎秆生物量所占比例分别较对照降低 0.8% 和 9.6%，但分别较对照提高梭梭根和肉苁蓉生物量所占比例 1.8% 和 8.6%；赤霉素使梭梭光合枝和肉苁蓉生物量所占比例分别较对照降低 4.7% 和 2.3%，但分别较对照增加梭梭茎秆和根生物量所占比例 5.3%、1.1%。结果表明，矮壮素虽然使梭梭总生物量降

低，但是却可通过对梭梭-肉苁蓉同化物的调节增加肉苁蓉生物量。

2.4 植物生长调节物质对梭梭-肉苁蓉同化物分配影响

2.4.1 植物生长调节物质对梭梭-肉苁蓉可溶性糖影响

植物生长调节物质对梭梭-肉苁蓉可溶性糖含量造成影响(表 5)。与对照相比，矮壮素分别使梭

梭光合枝、根和肉苁蓉中的可溶性糖含量较对照增加 3.7%、15.1%和 5.9%，但使梭梭茎秆可溶性糖含量较对照降低 7.5%；赤霉素分别使梭梭光合枝、茎秆可溶性糖含量较对照增加 54.3%和 7.2%，却使梭梭根和肉苁蓉的可溶性糖含量分别较对照降低 14.5%和 17.5%。

植物生长调节物质对梭梭-肉苁蓉可溶性糖累积量的影响与生长调节物质种类密切相关(表 5)。与对照相比,矮壮素使梭梭光合枝、茎秆可溶性糖累积量分别较对照降低 10.7%和 39.3%，但分别使梭梭根和肉苁蓉可溶性糖累积量较对照增加 17.2%和 97.6%；赤霉素分别使梭梭光合枝、茎秆、根可溶

性糖累积量较对照增加 75.4%、58.3%和 18.9%，但使肉苁蓉可溶性糖累积量较对照降低 26.3%。

植物生长调节物质能够调节梭梭-肉苁蓉各器官间可溶性糖分配(表 5)。与对照相比,矮壮素使梭梭光合枝、茎秆和根可溶性糖所占比例分别较对照降低 8.4%、11.2%和 0.4%，但却使肉苁蓉可溶性糖所占比例较对照增加 20.0%；赤霉素使梭梭光合枝、茎秆可溶性糖所占比例分别较对照增加 10.8%和 4.4%，但使梭梭根和肉苁蓉可溶性糖所占比例分别较对照降低 1.3%和 13.9%。结果表明,矮壮素可以通过对梭梭-肉苁蓉可溶性糖分配的调节增加肉苁蓉中可溶性糖累积量,而赤霉素却降

表 5 植物生长调节物质对梭梭-肉苁蓉可溶性糖影响

Table 5 Impact of plant growth regulators on soluble sugar of *H. ammodendron*-*C. deserticola*

处理方式 Treatment	指标 Index	光合枝 Photosynthetic sticks	茎秆 Stem	根 Root	肉苁蓉 <i>C. deserticola</i>	合计 Total
对照 Control	含量/(mg/g)	110.01 b	86.06 ab	150.81 b	576.71 a	—
	累积量/(g/株)	21.12	14.37	8.16	19.94	63.59
	比例/%	33.21	22.60	12.83	31.36	100
矮壮素 Chlormequat	含量/(mg/g)	114.02 b	79.60 b	173.53 a	610.86 a	—
	累积量/(g/株)	19.03	8.72	9.56	39.41	76.72
	比例/%	24.80	11.37	12.46	51.37	100
赤霉素 Gibberellin	含量/(mg/g)	169.69 a	92.28 a	128.91 c	475.99 b	—
	累积量/(g/株)	37.05	22.75	9.70	14.69	84.19
	比例/%	44.01	27.02	11.52	17.45	100

低肉苁蓉中可溶性糖累积量。

2.4.2 植物生长调节物质对梭梭-肉苁蓉淀粉影响

植物生长调节物质对梭梭-肉苁蓉各器官淀粉含量造成影响(表 6)。与对照相比,矮壮素分别使梭梭光合枝、茎秆和根淀粉含量较对照增加 47.8%、22.1%和 34.4%，并且差异均达显著水平($P < 0.05$),但肉苁蓉淀粉含量较对照降低了 17.4%；赤霉素使梭梭光合枝和肉苁蓉淀粉含量分别较对照降低 6.9%和 31.8%，但分别较对照提高梭梭茎秆和根淀粉含量 0.8%、22.7%。

植物生长调节物质对梭梭-肉苁蓉各器官淀粉累积量的影响与生长调节物质种类密切相关(表 6)。与对照相比,矮壮素使梭梭光合枝、根以及肉苁蓉淀粉累积量分别较对照增加 28.4%、36.8%和 54.2%，却较对照降低梭梭茎秆淀粉累积量

19.7%；赤霉素分别较对照增加梭梭光合枝、茎秆和根淀粉累积量 5.9%、48.9%和 70.7%，而肉苁蓉淀粉累积量却较对照降低 39.0%。

植物生长调节物质能够调节梭梭-肉苁蓉各器官淀粉所占比例(表 6),与对照相比,矮壮素使梭梭光合枝、根和肉苁蓉淀粉所占比例分别较对照增加 5.5%、3.0%和 3.9%，却使梭梭茎秆淀粉所占比例较对照降低 12.4%；赤霉素使梭梭光合枝和肉苁蓉中淀粉所占比例分别较对照降低 5.9%和 5.0%，但使梭梭茎秆和根淀粉所占比例分别较对照升高 7.0%和 3.9%。结果表明,矮壮素和赤霉素均降低肉苁蓉中淀粉含量,但由于对梭梭-肉苁蓉淀粉不同的分配调节作用,最终矮壮素可使肉苁蓉中淀粉累积量增加,而赤霉素却降低了肉苁蓉中淀粉累积量。

表 6 植物生长调节物质对梭梭-肉苁蓉淀粉影响

Table 6 Impact of plant growth regulators on starch of *H. ammodendron-C. deserticola*

处理方式 Treatment	指标 Index	光合枝 Photosynthetic sticks	茎秆 Stem	根 Root	肉苁蓉 <i>C. deserticola</i>	合计 Total
对照 Control	含量/(mg/g)	99.11 b	161.41 b	133.58 b	162.35 a	—
	累积量/(g/株)	19.03	26.94	7.23	5.61	58.81
	比例/%	32.36	45.81	12.29	9.54	100
矮壮素 Chlormequat	含量/(mg/g)	146.44 a	197.15 a	179.50 a	134.07 b	—
	累积量/(g/株)	24.44	21.59	9.89	8.65	64.57
	比例/%	37.85	33.44	15.32	13.39	100
赤霉素 Gibberellin	含量/(mg/g)	92.32 b	162.75 b	163.94 a	110.76 c	—
	累积量/(g/株)	20.16	40.12	12.34	3.42	76.04
	比例/%	26.51	52.76	16.23	4.50	100

2.4.3 植物生长调节物质对梭梭-肉苁蓉非结构性碳水化合物影响

植物生长调节剂物质影响梭梭-肉苁蓉各器官非结构性碳水化合物含量(表 7)。与对照相比,矮壮素分别使梭梭光合枝和茎秆非结构性碳水化合物含量较对照降低 4.1%和 2.1%,但分别较对照增加梭梭根、肉苁蓉非结构性碳水化合物含量 19.6%和 0.2%;赤霉素使梭梭光合枝、茎秆、根非结构性碳水化合物含量分别较对照增加 51.4%、17.0%、9.7%,并且差异均达显著水平($P < 0.05$),却较对照降低肉苁蓉非结构性碳水化合物含量 21.1%。

植物生长调节物质对梭梭-肉苁蓉各器官非结

构性碳水化合物累积量的影响与生长调节物质种类密切相关(表 7)。与对照相比,矮壮素使梭梭光合枝、茎秆非结构性碳水化合物累积量分别较对照降低 16.6%、35.7%,却分别较对照增加梭梭根、肉苁蓉非结构性碳水化合物累积量 21.8%、87.0%;赤霉素使梭梭光合枝、茎秆、根非结构性碳水化合物累积量分别较对照增加 41.9%、72.7%、52.5%,却较对照降低肉苁蓉非结构性碳水化合物累积量 29.5%。

植物生长调节物质调节梭梭-肉苁蓉各器官非结构性碳水化合物比例(表 7)。与对照相比,矮壮素使梭梭光合枝、茎秆非结构性碳水化合物所占比

表 7 植物生长调节物质对梭梭-肉苁蓉非结构性碳水化合物影响

Table 7 Impact of plant growth regulators on non-structural carbohydrates of *H. ammodendron-C. deserticola*

处理方式 Treatment	指标 Index	光合枝 Photosynthetic sticks	茎秆 Stem	根 Root	肉苁蓉 <i>C. deserticola</i>	合计 Total
对照 Control	含量/(mg/g)	215.08 b	247.46 b	281.10 c	743.13 a	—
	累积量/(g/株)	41.30	41.31	15.22	25.70	123.53
	比例/%	33.43	33.44	12.32	20.81	100
矮壮素 Chlormequat	含量/(mg/g)	206.34 b	242.36 b	336.15 a	744.93 a	—
	累积量/(g/株)	34.43	26.55	18.53	48.06	127.57
	比例/%	26.99	20.81	14.53	37.67	100
赤霉素 Gibberellin	含量/(mg/g)	325.62 a	289.43 a	308.41 b	586.73 b	—
	累积量/(g/株)	71.10	71.35	23.21	18.11	183.77
	比例/%	38.69	38.83	12.63	9.85	100

例分别较对照降低6.4%、12.6%，而分别较对照升高梭梭根、肉苁蓉非结构性碳水化合物所占比例2.2%、16.9%；赤霉素使梭梭光合枝、茎秆、根非结构性碳水化合物所占比例分别较对照升高5.3%、5.4%、0.3%，但较对照降低肉苁蓉非结构性碳水化合物所占比例11.0%。结果表明，矮壮素通过对梭梭-肉苁蓉非结构性碳水化合物的分配调节作用，增加肉苁蓉中非结构性碳水化合物累积量。

3 结论与讨论

寄生植物生物学特性决定了其生长发育所需全部营养物质均来自寄主植物^[15]，并且当二者建立寄生关系后，寄生植物便犹如一个巨大的营养物质贮存“库”，储存着来自寄主“源”端吸收制造的各种物质，并且以可循环利用的非结构性碳水化合物为主^[16]。同时，寄生植物不仅可以改变寄主植物同化物的累积和分配^[17-18]，还能刺激寄主产生各种生理反应并导致寄主生长发育、同化物转运和分配产生异常^[19-21]。

寄生植物肉苁蓉肉质茎生长、蒴果发育、种子形成过程中所需全部营养物质均来源于寄主梭梭^[22-23]，因此，梭梭体内可利用物质供应量决定着肉苁蓉产量形成。相关研究已经阐明，肉苁蓉及其寄主梭梭之间存在复杂的物质分配关系^[24-25]。但是，如何促进梭梭同化物合成并调节同化物的转运和分配，促使更多可利用物质分配给肉苁蓉是肉苁蓉高产栽培的关键问题。

植物生长调节物质作为植物激素的类似物被广泛使用于作物生长发育调节，相关研究表明生长促进剂赤霉素能够促进作物生长、光合速率增强、抗性增加、产量增加，但使用不当也会造成植物徒长^[26-31]；生长抑制剂矮壮素则能通过促进作物叶绿素含量升高来提高光合速率并最终提高产量^[32-35]。因此，植物生长调节物质赤霉素和矮壮素对寄生植物/寄主植物生长及同化物的合成、转运和分配产生何种影响是本研究关注的主要问题。本研究以梭梭、肉苁蓉为材料，系统研究了赤霉素和矮壮素对梭梭生长和同化物合成、转运、分配的调节以及对肉苁蓉生物量的影响。研究结果显示：赤霉素促进梭梭生长，但抑制肉苁蓉生长；而矮壮素抑制梭梭生长，却促进肉苁蓉生长。本研究结果明确矮壮素对提高肉苁蓉生物量具有调节作用，这为梭梭-肉苁蓉高产栽培和化控调节提供了一定的理论基础。

梭梭-肉苁蓉生长及同化物的合成、转运与分配不仅与其生物学特性密切相关，而且与环境条件、施肥和灌水等农艺措施密不可分，因此有必要对相关科学问题进行进一步系统研究。

参 考 文 献

- [1] 屠鹏飞,姜勇,郭玉海,等. 肉苁蓉研究及其产业发展[J]. 中国药学杂志, 2011, 46(12): 882-887
- [2] Jiang Y, Tu P F. Analysis of chemical constituents in *Cistanche species*[J]. J Chromatogr A, 2009, 1216(11): 1970-1979
- [3] Wen J H, Tai H F, Xu M, et al. Echinacoside elicits endothelium-dependent relaxation in rat aortic rings via an NO-cGMP pathway[J]. Planta Med, 2009, 75: 1400-1404
- [4] Jia Y M, Guan Q N, Guo Y H, et al. Reduction of inflammatory hyperplasia in the intestine in colon cancer-prone mice by water-extract of *Cistanche deserticola* [J]. Phytother Res, 2012, 26(6): 812-819
- [5] Jia Y M, Guan Q N, Guo Y H, et al. Echinacoside stimulates cell proliferation and prevents cell apoptosis in intestinal epithelial MODE-K cells by up-regulation of transforming growth factor- β 1 expression[J]. J Pharmacol Sci, 2012, 118(1): 99-108
- [6] 崔旭盛,郭玉海,杜友,等. 梭梭碳水化合物含量与树龄关系的研究[J]. 中国农业大学学报, 2010, 15(5): 37-41
- [7] Kondhare K R, Kettlewell P S, Farrell A D, et al. Effects of exogenous abscisic acid and gibberellic acid on pre-maturity α -amylase formation in wheat grains[J]. Euphytica, 2012, 188: 51-60
- [8] Hu X L, Lu M H, Li C H, et al. Differential expression of proteins in maize roots in response to abscisic acid and drought [J]. Acta Physiol Plant, 2011, 33: 2437-2446
- [9] 邓忠,白丹,翟国亮,等. 不同植物生长调节剂对新疆棉花干物质积累、产量和品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(3): 122-127
- [10] 马丽华,马瑞昆,姚艳荣,等. 植物生长抑制剂对冬小麦茎秆特性、物质转运及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(10): 146-149
- [11] 黄勇,刘晓萍,骆翔,等. 肉苁蓉寄生对梭梭生物量和碳水化合物含量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2009, 14(5): 76-79
- [12] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 117-120
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134-137
- [14] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安: 世界图书出版社, 2000: 145-148
- [15] Jiang F, Jeschke W D, Hartung W, et al. Does legume nitrogen fixation underpin host quality for the hemiparasitic plant *Rhinanthus minor* [J]. J Exp Bot, 2008, 59: 917-925

- [16] Cernusak L A, Tcherkez G, Keitel C, et al. Why are non-photosynthetic tissues generally ^{13}C enriched compared with leaves in C_3 plants? Review and synthesis of current hypotheses[J]. *Funct Plant Biol*, 2009, 36:199-213
- [17] 骆翔, 翟志席, 郭玉海, 等. 管花肉苁蓉对柽柳器官同化物分配的优化[J]. *中国农业大学学报*, 2011, 16(4):43-47
- [18] 吴艳, 郑雷, 崔旭盛, 等. 锁阳寄生对白刺生物量及碳水化合物影响研究[J]. *中国农业大学学报*, 2012, 17(4):53-57
- [19] 杨太新, 王华磊, 郭玉海, 等. 华北平原管花肉苁蓉寄生环境研究[J]. *中国中药杂志*, 2005, 30(17):1380-1383
- [20] Shen H, Hong L, Ye W H, et al. The influence of the holoparasitic plant *Cuscuta campestris* on the growth and photosynthesis of its host *Mikania micrantha* [J]. *J Exp Bot*, 2007, 58:2929-2937
- [21] Seel W E, Parsons A N, Press M C. Do inorganic solutes limit growth of the facultative hemiparasite *Rhinanth minor* L in the absence of a host? [J]. *New Phytologist*, 1993, 124:283-289
- [22] 郑雷, 崔旭盛, 吴艳, 等. 梭梭树龄与肉苁蓉种子产量关系的研究[J]. *中国农业大学学报*, 2013, 18(2):100-104
- [23] 郑雷, 吴艳, 崔旭盛, 等. 肉苁蓉蒴果与种子发育研究[J]. *中国农业大学学报*, 2013, 18(3):68-72
- [24] 郭玉海, 崔旭盛, 黄勇. 寄生植物和寄主植物间的物质分配[J]. *科学通报*, 2011, 56(30):2527-2531
- [25] 郭玉海, 崔旭盛, 黄勇, 等. 肉苁蓉寄生对梭梭 N、P、K 积累和分配的影响[J]. *中国药理学杂志*, 2011, 46(14):1062-1065
- [26] Ilias I, Ouzounidou G, Giannakoula A, et al. Effects of gibberellic acid and prohexadione-calcium on growth, chlorophyll fluorescence and quality of okra plant [J]. *Biol Plantarum*, 2007, 51 (3):575-578
- [27] 唐国雄, 杨文婷, 侯婷, 等. 赤霉素对不同甜叶菊品系主要农艺性状、糖苷含量及产量的影响[J]. *中国糖料*, 2012, (1):44-46
- [28] 黄兆峰, 李彩凤, 孙世臣, 等. 赤霉素对甜菜当年抽苔及光合作用调控[J]. *作物杂志*, 2009, (2):41-43
- [29] Nasir K M, Manzer H S, Mohammad F, et al. Calcium chloride and gibberellic acid protect linseed (*Linum usitatissimum* L) from NaCl stress by inducing antioxidative defence system and osmoprotectant accumulation[J]. *Acta Physiol Plant*, 2010, 32:121-132
- [30] Zhang C X, Taabe K, Tamura F, et al. Roles of gibberellins in increasing sink demand in Japanese pear fruit during rapid fruit growth[J]. *Plant Growth Regul*, 2007, 52:161-172
- [31] Gholami M, Rahemi M, Rastegar S. Effect of pulse treatment with sucrose, exogenous benzyl adenine and gibberellic acid on vase life of cut rose 'Red One'[J]. *Hort Environ Biotechnol*, 2011, 52(5):482-487
- [32] Luoronen J, Rikala R, Aphalo P J. Effect of CCC and daminozide on growth of silver birch container seedlings during three years after spraying[J]. *New Forests*, 2002, 23:71-80
- [33] Rayirath U P, Lada R R, Caldwell C D, et al. CCC and prohexadione-Ca enhance rhizome growth and lateral bud production in rhubarb (*Rheum rhabarbarum* L) [J]. *J Plant Growth Regul*, 2009, 28:137-146
- [34] 刘敏, 刘庆超, 刘庆华, 等. 矮壮素对唐松草生长的影响[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(10):164-167
- [35] 王惠群, 萧浪涛, 李合松, 等. 矮壮素对马铃薯中薯3号光合特征和磷素营养的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(6):1143-1147

责任编辑:袁文业