

氮素和干旱胁迫对冬小麦幼苗生长发育及生理指标的影响

赵君霞,马耕,岳鹏莉,王强,刘甘霖,谢旭东,王晨阳*
(河南农业大学 国家小麦工程技术研究中心,河南 郑州 450002)

摘要:以小麦品种豫麦49-198和周麦22为材料,在水培条件下研究了氮素和干旱胁迫对小麦幼苗生长及生理指标的影响。结果表明,单一氮素和干旱胁迫均显著降低小麦株高和地上部干质量,而根干质量和根冠比升高,双重胁迫(NO+PEG)的影响最大。在2种胁迫下,根和叶片中的硝酸盐含量均显著降低,氮胁迫的影响大于干旱胁迫。叶片和根部的可溶性蛋白质和游离氨基酸含量在氮胁迫下下降,干旱胁迫下显著升高。叶片GS活性在氮胁迫下降低,但在干旱胁迫下不同基因型存在差异:豫麦49-198叶片GS活性增加,而周麦22降低。
关键词:小麦;氮素胁迫;干旱胁迫;生长发育;氮代谢
中图分类号:S512.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-3268(2015)05-0026-05

Effect of Nitrogen and Drought Stress on Growth and Physiological Indexes of Winter Wheat Seedlings

ZHAO Junxia, MA Geng, YUE Pengli, WANG Qiang, LIU Ganlin, XIE Xudong, WANG Chenyang*
(National Engineering Research Center for Wheat, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Yumai 49-198 and Zhoumai 22 were used as materials to study the effects of nitrogen and drought stress on growth, development and physiological indexes of winter wheat in Hoagland's nutrient solution. The results indicated that nitrogen and water stress for five days could significantly decrease the plant height and shoot dry weight, but increase the root dry weight and root-shoot ratio, of which the combination stress of nitrogen and water stress (NO + PEG) had the largest influence. In the two stresses, the nitrate content of leaves and roots reduced significantly, and the effect of nitrogen was greater. The contents of soluble protein and free amino acids decreased significantly under nitrogen stress, but increased dramatically under water stress. GS activity of leaves was reduced greatly under nitrogen stress, while it showed difference between the two wheat genotypes under drought stress, Yumai 49-198 increased and Zhoumai 22 decreased.
Key words: *Triticum aestivum*; nitrogen stress; drought stress; growth and development; nitrogen metabolism

氮素是植物生长和发育所必需的重要营养元素^[1],是蛋白质、氨基酸、核苷酸、叶绿素等的组成成分。氮肥不足严重影响农作物的产量^[2-3]。近年来,农民为了获得高产,盲目增加氮肥的施用量^[4],
然而氮肥利用效率(NUE)很低,60%的氮肥流失^[5]。氮肥的不合理施用不仅影响了作物的产量和品质,而且也引起了诸多生态环境问题^[4-5]。干旱胁迫是小麦生产中最主要的非生物胁迫因子之

收稿日期:2014-12-16
基金项目:农业部公益性行业(农业)科研专项(201203079);“十二五”国家科技支撑计划项目(2013BAD07B07);河南省小麦产业技术体系岗位专家项目(S2010-01-G07)
作者简介:赵君霞(1988-),女,河南长葛人,在读硕士研究生,研究方向:小麦生理生态。E-mail:jxzhao129@163.com
* 通讯作者:王晨阳(1964-),男,河南方城人,研究员,博士,主要从事小麦高产优质生理生态研究。
E-mail:xmzxwang@163.com

—^[6],由于水分亏缺降低了氮素的利用率^[7-8],在实际生产中,氮素不足和干旱双重胁迫往往同时存在,干旱和氮肥的不合理利用已成为农业生产可持续发展的一个严重问题。目前,有关作物水、氮素利用效率基因型差异已有一些报道。王永华等^[9]对河南省大面积种植的 20 个小麦品种的氮素营养利用效率的研究表明,小麦基因型在氮素利用效率上存在遗传差异。杨建昌等^[10]研究认为,氮素供应可以改善干旱胁迫下作物体内水分状况,增强作物抗旱性,提高作物水分利用率。梁银丽等^[11]研究显示,在土壤水分为良好、轻度干旱、严重干旱条件下,氮素供应对作物分别表现为正向调节作用、无明显作用、负效应。近年来,水肥交互作用的研究日益受到重视,有研究认为,水氮耦合不仅能够提高小麦产量,而且可以改善其品质^[12]。然而这方面的研究主要针对水肥的配合机制,而很少涉及冬小麦苗期对水肥的耦合响应。据此,以 2 个河南省主导小麦品种为材料,研究幼苗在氮素和干旱胁迫下的生长发育和生理响应机制,以期揭示小麦不同基因型间氮素和水分利用的差异,为小麦水、氮高效利用基因型筛选和抗逆栽培提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

试验以 2 个小麦品种豫麦 49-198 和周麦 22 为材料。挑选均匀一致的种子,用 75% 的乙醇消毒 15 min,然后用去离子水冲洗干净。浸种 24 h,将发芽一致的种子种于直径为 15 cm 的培养皿中,每个培养皿中大约 50 株小麦幼苗,并将其放置在 14 h 光照、光照强度为 250 μmol/(m²·s)、昼夜温度为 25 ℃/15 ℃、昼夜相对湿度为 60%/75% 的培养箱(QXZ-430E)中,用 Hoagland 营养液培养。2 周后将小麦幼苗分成 4 组:第 1 组在 Hoagland 完全营养液中生长,为对照组(N);第 2 组在无氮的 Hoagland 营养液中生长,为氮胁迫组(N0),用 KCl 和 CaCl₂ 分别代替营养液中的 KNO₃ 和 Ca(NO₃)₂;第 3 组在

含 15% PEG-6000 的全氮营养液(PEG)中生长;第 4 组在含 15% PEG-6000 的无氮营养液(N0+PEG)中生长。每个处理重复 3 次。每 2 d 更换一次营养液。处理 5 d 后取鲜样。

1.2 测定项目及方法

处理 5 d 后,从每个培养皿中随机取 10 株小麦幼苗,测定株高、根长、干质量和根冠比。

根据 Cataldo 等^[13]的方法测定小麦幼苗硝态氮(NO₃⁻)含量。根据李合生^[14]的方法测定小麦幼苗中可溶性蛋白质和游离氨基酸的含量。根据王小纯等^[15]的方法测定谷氨酰胺合成酶(GS)活性。

1.3 数据分析

用 SPSS 17.0 软件进行方差分析($P < 0.05$),采用 Excel 进行图表绘制。

2 结果与分析

2.1 氮素和干旱胁迫对小麦幼苗生长指标的影响

数据分析显示(表 1),与对照相比,N0、PEG 和 N0+PEG 处理下,豫麦 49-198 的株高分别显著下降 16.1%、26.9% 和 30.6%,周麦 22 分别显著下降 10.5%、27.2% 和 29.7%。豫麦 49-198 的地上部干质量分别显著下降了 19.6%、27.5% 和 31.4%,周麦 22 显著下降 21.1%、21.1% 和 33.3%,说明双重胁迫处理(N0+PEG)影响最大,而 PEG 胁迫影响大于 N0 胁迫。N0 处理下,豫麦 49-198 和周麦 22 的根长分别增加 3.1% 和 2.3%,然而 PEG 和 N0+PEG 处理分别使豫麦 49-198 的根长降低 16.6% 和 14.5%,使周麦 22 的根长降低 14.0% 和 8.6%。豫麦 49-198 的根干质量在 N0、PEG 和 N0+PEG 处理下较对照分别增加 13.3%、6.7%、26.7%,周麦 22 分别增加 13.3%、13.3%、40.0%。豫麦 49-198 的根冠比分别较对照显著增加 45.9%、52.7%、84.3%,周麦 22 显著增加 44.9%、47.9%、115.1%。双重胁迫处理(N0+PEG)对小麦幼苗根干质量和根冠比的胁迫影响也是最大,PEG 的影响大于 N0 胁迫。2 个品种在不同处理下的受胁迫程度相似。

表 1 氮素和干旱胁迫对小麦幼苗生长指标的影响

品种	处理	株高/cm	根长/cm	干质量/(g/株)		根冠比
				地上部	地下部	
豫麦 49-198	N(CK)	19.3 ± 0.70a	19.3 ± 0.20a	0.051 ± 0.001a	0.015 ± 0.001b	0.292 ± 0.014d
	N0	16.2 ± 0.23b	19.9 ± 0.49a	0.041 ± 0.001b	0.017 ± 0.001a	0.426 ± 0.012c
	PEG	14.1 ± 0.32c	16.1 ± 0.26b	0.037 ± 0.001c	0.016 ± 0.001b	0.446 ± 0.035b
	N0+PEG	13.4 ± 0.50c	16.5 ± 0.40b	0.035 ± 0.001d	0.019 ± 0.001a	0.538 ± 0.016a
周麦 22	N(CK)	23.9 ± 0.49a	22.2 ± 0.27a	0.057 ± 0.002a	0.015 ± 0.001b	0.265 ± 0.011d
	N0	21.4 ± 0.27b	22.7 ± 0.26a	0.045 ± 0.001b	0.017 ± 0.001b	0.384 ± 0.017c
	PEG	17.4 ± 0.46c	19.1 ± 0.36c	0.045 ± 0.002b	0.017 ± 0.002b	0.392 ± 0.019b
	N0+PEG	16.8 ± 0.11c	20.3 ± 0.46b	0.038 ± 0.002c	0.021 ± 0.001a	0.548 ± 0.020a

注:不同字母代表差异达到显著水平($P < 0.05$),下同。

2.2 氮素和干旱胁迫对小麦幼苗硝态氮、可溶性蛋白质和游离氨基酸含量的影响

氮和干旱胁迫均显著降低小麦幼苗硝态氮含量(表 2)。与对照相比,N0、PEG 和 N0 + PEG 处理下,豫麦 49 - 198 叶片的硝态氮含量分别显著下降 90.4%、36.5%、81.6%,根部为 91.7%、47.0%、85.1%;周麦 22 叶片为 62.0%、17.1%、41.3%,根部为 89.2%、47.5%、63.5%,表明 N0 对小麦苗期硝态氮的胁迫影响最大,N0 + PEG 的影响大于 PEG 胁迫,硝态氮含量的下降幅度表现为:豫麦 49 - 198 > 周麦 22,根部 > 叶片。

与对照相比(表 2),在 N0 处理下,豫麦 49 - 198 叶片和根部的可溶性蛋白质含量分别显著降低 14.0% 和 14.3%,游离氨基酸含量分别降低 22.2% 和 60.0%;周麦 22 叶片和根部可溶性蛋白质含量分别显著降低 13.7% 和 23.8%,游离氨基酸含量分

别降低 30.0% 和 66.7%。然而,在 PEG 和 N0 + PEG 处理下,豫麦 49 - 198 叶片中的可溶性蛋白质含量分别增加了 30.7% 和 13.2%,根部可溶性蛋白质含量分别增加了 16.3% 和 -8.2%,周麦 22 叶片可溶性蛋白质含量分别显著增加了 62.7% 和 53.0%,根部可溶性蛋白质含量分别增加了 23.8% 和 4.8%;豫麦 49 - 198 叶片中游离氨基酸含量分别显著增加了 4.7 倍和 4.2 倍,根部游离氨基酸含量分别显著增加了 4.3 倍和 2.5 倍,周麦 22 叶片中游离氨基酸含量分别显著增加了 6.0 倍和 4.6 倍,根部游离氨基酸含量分别显著增加了 4.8 倍和 2.3 倍。可溶性蛋白质和游离氨基酸含量在 N0 处理时的下降幅度表现为:根部 > 叶部;在 PEG 和 N0 + PEG 处理下的增加幅度表现为:叶部 > 根部,且 PEG > N0 + PEG。

表 2 氮素和干旱胁迫对小麦幼苗生理指标的影响

品种	处理	硝态氮含量/(μg/g)		可溶性蛋白质 含量/(mg/g)		游离氨基酸含量/(μg/g)	
		叶	根	叶	根	叶	根
豫麦 49 - 198	N(CK)	208.9 ± 6.5a	150.7 ± 8.9a	11.4 ± 0.1c	4.9 ± 0.1b	2.7 ± 0.3b	1.5 ± 0.2b
	N0	20.1 ± 4.0d	12.5 ± 1.4d	9.8 ± 0.1d	4.2 ± 0.2c	2.1 ± 0.2b	0.6 ± 0.2b
	PEG	132.7 ± 5.5b	80.1 ± 4.3b	14.9 ± 0.1a	5.7 ± 0.3a	15.4 ± 0.9a	7.9 ± 0.3a
	N0 + PEG	38.5 ± 3.6c	22.1 ± 3.1c	12.9 ± 0.3b	4.5 ± 0.3bc	14.1 ± 0.6a	5.2 ± 0.3a
周麦 22	N(CK)	211.1 ± 6.2a	100.2 ± 5.1a	5.1 ± 0.2c	2.1 ± 0.1b	1.0 ± 0.1c	0.9 ± 0.1c
	N0	80.3 ± 0.3d	10.8 ± 1.8d	4.4 ± 0.1d	1.6 ± 0.1c	0.7 ± 0.2c	0.3 ± 0.1d
	PEG	174.9 ± 3.8b	52.6 ± 2.9b	8.3 ± 0.1a	2.6 ± 0.2a	7.0 ± 0.4a	5.2 ± 0.2a
	N0 + PEG	123.9 ± 0.9c	36.6 ± 2.0c	7.8 ± 0.2b	2.2 ± 0.2b	5.6 ± 0.2b	3.0 ± 0.3b

2.3 氮素和干旱胁迫对小麦幼苗 GS 活性的影响

由图 1 可知,叶片中的 GS 活性高于根系中 GS 活性,豫麦 49 - 198 中的 GS 活性高于周麦 22 中 GS 活性。与对照相比,豫麦 49 - 198 和周麦 22 在 N0 处理下叶片中的 GS 活性分别显著降低了 7.9% 和 12.8%,根中 GS 活性分别降低 6.0% 和 11.1%。在 PEG 和 N0 + PEG 处理下,豫麦 49 - 198 根部 GS 活性分别增加 8.8% 和 12.8%,周麦 22

根部分别增加 -1.2% 和 4.9%,豫麦 49 - 198 叶片 GS 活性分别增加 2.0% 和 5.3%,然而,周麦 22 叶片 GS 活性则分别显著降低 19.0% 和 29.5%。数据表明,在 N0 处理下,周麦 22 下降幅度大于豫麦 49 - 198;在 PEG 和 N0 + PEG 处理下,叶片 GS 活性存在基因型差异:周麦 22 显著下降,而豫麦 49 - 198 升高。说明豫麦 49 - 198 有更强的抗胁迫能力。

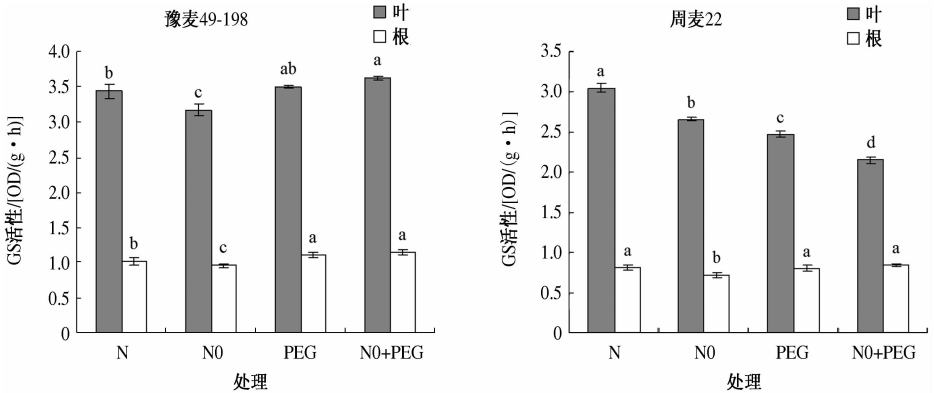


图 1 氮素和干旱胁迫对小麦幼苗 GS 活性的影响

3 结论与讨论

氮和干旱胁迫是植物生长发育的重要限制因素^[16]。本研究表明,氮胁迫和干旱胁迫均显著抑制小麦幼苗的生长,表现在2个品种幼苗株高和地上部干质量显著下降;而氮胁迫增加了根长,表明氮胁迫诱导根的伸长,Guo等^[17]也得到相似的结论。另有研究表明,在硝态氮或水分亏缺的情况下,根干质量和根冠比增加^[18],本试验中氮胁迫、干旱胁迫及双重胁迫都增加2个品种根干质量和根冠比,双重胁迫下增加最多。因此认为,根的增长是抵制胁迫的一种至关重要的反应,是植物对环境的一种适应性表现。

硝酸盐、蛋白质和游离氨基酸是重要的氮代谢产物^[19]。本研究显示,氮胁迫降低叶片和根的硝态氮、可溶性蛋白质和游离氨基酸含量,相似的结果在拟南芥和水稻中已有报道^[20-21]。许多研究表明,不同胁迫条件下可溶性蛋白质和特殊氨基酸在不同植物中都有积累^[22-23]。本试验中,干旱胁迫显著降低了小麦幼苗硝态氮含量,但可溶性蛋白质和游离氨基酸的含量则显著上升。所以作为渗透调节物质,蛋白质和氨基酸的积累是植物抵御逆境的一个重要生理响应。同时,本试验也表明,在水分胁迫下施氮能够提高氮代谢物的含量。

GS是植物氮同化的关键酶^[24]。本研究中,叶片中的GS活性大于根系,豫麦49-198中GS活性大于周麦22。有研究表明,氮胁迫条件下水稻中的GS活性下降^[25];水分胁迫条件下,水稻^[26]、小麦^[27]中的GS活性下降。本试验中2个小麦品种幼苗在氮胁迫下GS活性显著下降(且周麦22下降幅度大于豫麦49-198),但在干旱胁迫下存在品种间差异:豫麦49-198中GS活性升高,而周麦22中GS活性显著下降。试验结果表明,豫麦49-198的氮同化能力高于周麦22。这种品种间酶活性差异,以及胁迫下氮代谢关键酶活性的变化是氮代谢差异的一个重要指标,了解氮代谢相关酶的生理和分子功能对调节氮代谢,提高氮素利用效率有重要作用。

综上所述,氮胁迫和干旱胁迫通过对植物体内氮代谢关键酶、氮代谢产物的调节进而影响植株的生长发育,但胁迫调节氮代谢的机制尚有待进一步深入研究。

参考文献:

[1] Frink C R, Waggoner P E, Ausubel J H. Nitrogen fertilizer: Retrospect and prospect [J]. Proc Natl Acad Sci

USA, 1999, 96(4): 1175-1180.

[2] Liao C S, Peng Y F, Ma W, et al. Proteomic analysis revealed nitrogen-mediated metabolic, developmental, and hormonal regulation of maize (*Zea mays* L.) ear growth [J]. J Exp Bot, 2012, 63: 5275-5288.

[3] Liang G, He H, Yu D. Identification of nitrogen starvation-responsive microRNAs in *Arabidopsis thaliana* [J]. PLoS ONE, 2012, 7(11): e48951.

[4] Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2009, 106: 3041-3046.

[5] Good A, Beatty P. Fertilizing nature: A tragedy of excess in the commons [J]. PLoS Biol, 2011, 9: e1001124.

[6] Campos H, Cooper M, Habben J E. Improving drought tolerance in maize: A view from industry [J]. Field Crops Res, 2004, 90(1): 19-34.

[7] Arora A, Singh V P, Mohan J. Effect of nitrogen and water stress on photosynthesis and nitrogen content in wheat [J]. Biol Plantarum, 2001, 44(1): 153-155.

[8] Cairns J E, Impa S M, O'Toole J C, et al. Influence of the soil physical environment on rice (*Oryza sativa* L.) response to drought stress and its implications for drought research [J]. Field Crops Res, 2011, 121(3): 303-310.

[9] 王永华, 胡卫利, 李刘霞, 等. 不同基因型小麦产量和氮利用效率的差异及其相互关系 [J]. 麦类作物学报, 2013, 33(2): 301-308.

[10] 杨建昌, 王志琴, 朱庆森. 不同土壤水分状况下氮素营养对水稻产量的影响及其生理机制的研究 [J]. 中国农业科学, 1996, 4(26): 58-65.

[11] 梁银丽, 陈培元. 土壤水分和氮磷营养对冬小麦根苗生长的影响 [J]. 作物学报, 1996, 22(4): 476-482.

[12] 王立秋, 曹敬山, 靳占忠. 春小麦产量及其品质的水肥效应研究 [J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(1): 58-63.

[13] Cataldo D, Harron M, Scharader L E, et al. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid [J]. Commun Soil Sci Plant Anal, 1975, 6(1): 853-855.

[14] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术 (面向 21 世纪课程教材) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

[15] 王小纯, 安帅, 熊淑萍, 等. 小麦叶片谷氨酰胺合成酶的分离纯化及鉴定 [J]. 麦类作物学报, 2010, 30(1): 83-86.

[16] Diaz U, Saliba C V, Loudet O, et al. Leaf yellowing and anthocyanin accumulation are two genetically independent strategies in response to nitrogen limitation in *Arabidopsis thaliana* [J]. Plant Cell Physiol, 2006, 47(1): 74-83.

[17] Guo T,Xuan H,Yang Y,*et al.* Transcription analysis of genes encoding the wheat root transporter NRT2 and NRT2 families during nitrogen starvation [J]. J Plant Growth Regul,2014,33(4) :837-848.

[18] Zhang H,Forde B G. An *Arabidopsis* MADS box gene that controls nutrient-induced changes in root architecture[J]. Science,1998,279:407-409.

[19] Crawford N M,Glass A D M. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants[J]. Trends Plant Sci, 1998,3:389-395.

[20] Kiba T,Feria-Bourrellier A B,Lafouge F,*et al.* The arabidopsis nitrate transporter NRT2. 4 plays a double role in roots and shoots of nitrogen-starved plants[J]. The Plant Cell,2012,24(1) :245-258.

[21] Cai H,Lu Y,Xie W,*et al.* Transcriptome response to nitrogen starvation in rice [J]. J Biosci, 2012, 37 (4) : 731-747.

[22] Ramanjulu S,Sudhakar C. Drought tolerance is partly related to amino acid accumulation and ammonia assimilation;A comparative study in two mulberry genotypes differing in drought sensitivity [J]. J Plant Physiol, 1997, 150:345-350.

[23] Maheshwari R,Dubey R S. Nickel toxicity inhibits ribonuclease and protease activities in rice seedlings;Protective effects of praline[J]. Plant Growth Regul,2007,51: 231-224.

[24] Zhao X,Zhao S,Shi W. Enhancement of NH_4^+ uptake by NO_3^- in relation to expression of nitrate-induced genes in rice(*Oryza sativa*) roots[J]. Pedosphere,2008,18(1) : 86-91.

[25] 罗凤,卢永恩,杨猛,等. 氮胁迫对水稻营养生长期氮代谢及相关基因表达量的影响[J]. 华中农业大学学报,2012,31(1) :16-22.

[26] 孙园园,孙永健,吴合洲,等. 水分胁迫对水稻幼苗氮素同化酶及光合特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(5) :1016-1022.

[27] 马新明,李琳,赵鹏,等. 土壤水分对强筋小麦豫麦 34 氮素同化酶活性和籽粒品质的影响[J]. 植物生态学报,2005,29(1) :48-53.

(上接第 25 页)

[20] 王进强,吴刚,许文耀. 植物病害生防制剂的研究进展[J]. 福建农业大学学报,2004,33(4) :448-452.

[21] 李凯,袁鹤. 植物病害生物防治概述[J]. 山西农业科学,2012,40(7) :807-810.

[22] 罗战勇,陈元生,周会光,等. 防治烟草青枯病的药剂筛选试验[J]. 广东农业科学,2000,23(1) :42-43.

[23] 郭利,涂洋洋,杨力,等. 新型微生物农药百抗防治烟草青枯病试验 [J]. 现代农业科技, 2008 (24) : 116,120.

[24] 陈志谊. 微生物农药在植物病虫害防治中的应用及发展策略[J]. 江苏农业科学,2001,35(4) :39-42.

[25] 裴炎,李先碧,彭红卫,等. 抗真菌多肽的分离纯化与特性[J]. 微生物学报,1999,39(4) :348-349.

[26] 孔庆科,丁爱云,刘招舰,等. 根际细菌诱导的系统抗性[J]. 山东科学,2001,14(4) :18-25.

[27] 邢鲲,韩巨才,乔建,等. 油菜内生细菌 yc8 诱导植物抗病性机理研究[J]. 山西农业科学,2010,38(10) : 37-40.

[28] 赵继红,李建中. 农用微生物杀菌剂研究进展[J]. 农药,2003,42(5) :6-8.

[29] 杨润亚,吴文君. 一类自 Bt 中分离出的具杀菌活性的新型脂肽[J]. 世界农药,2001,23(4) :37-38.

[30] 陈源,卜元卿,单正军. 微生物农药研发进展及各国管理现状[J]. 农药,2012,51(2) :85-89.

[31] 龚亚辉. 微生物在现代农业中的应用研究进展[J]. 现代农业科技,2012,23(23) :225-227.

[32] 付颖,叶非,王常波. 生物源除草剂研究与使用进展 [J]. 农药,2002,41(5) :7-17.

[33] 李铷,董锦艳,向梅梅. 微生物源除草剂的研究、应用现状及展望[J]. 杂草科学,2004,46(4) :1-7.

[34] 蒋细良,朱昌雄,杨怀文,等. 抗生素除草剂 M-22 除草效果的初步评价[J]. 中国生物防治,2001,17(1) : 47-49.