

模拟氮沉降对杂草生长和氮吸收的影响^{*}

蒋琦清¹ 唐建军¹ 陈欣^{1,2,*} 陈静¹ 杨如意¹ Hu S²

(¹ 浙江大学生命科学学院, 杭州 310029; ² Department of Plant Pathology, College of Agriculture and Life Sciences, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695-7616, USA)

【摘要】 以杂草早熟禾、黑麦草、野燕麦、天蓝苜蓿、白车轴草、北美车前、婆婆纳、无芒稗、牛筋草和刺苋为试验材料,以 $4.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 的 N 输入为模拟氮沉降浓度,研究了不同杂草功能类群对模拟氮沉降的响应。结果表明,模拟氮沉降处理下,杂草的生物量(总生物量、地上部分生物量、根生物量)呈增加趋势,但不同功能类群对氮增加的响应明显不同, C_4 禾本科、 C_3 豆科及 C_3 禾本科植物的生物量受到氮沉降的显著促进,但 C_3 非禾本科和 C_4 非禾本科植物的生物量则受氮沉降的影响不显著;不同功能类群的根冠比、植株含氮及植株吸收氮的总量对模拟氮沉降的响应无明显规律,但物种间差异显著。氮沉降提高野燕麦和北美车前的生物量的根冠比,但对其他生物种类没有显著影响。没有发现氮沉降对植物体内的含氮量有显著的影响,但氮沉降却显著地提高了除刺苋、早熟禾及婆婆纳之外的所有杂草物种对 N 的摄取。由于物种对氮沉降的响应不同,未来氮沉降的增加将加速杂草群落组成的变化。

关键词 氮沉降 杂草 生物量 氮吸收

文章编号 1001 - 9332(2005)05 - 0951 - 05 **中图分类号** X171 **文献标识码** A

Effects of simulated nitrogen deposition on weeds growth and nitrogen uptake. JIANG Qiqing¹, TANG Jianjun¹, CHEN Xin^{1,2}, CHEN Jing¹, YANG Ruyi¹, Hu S² (¹ College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; ² Department of Plant Pathology, College of Agriculture and Life Sciences, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695-7616, USA). -Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(5): 951 ~ 955.

In this paper, a greenhouse experiment was conducted to study the responses of different functional groups of weeds to simulated nitrogen deposition ($4.0 \text{ g N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$). Native weed species *Poa annua*, *Lolium perenne*, *Avena fatua*, *Medicago lupulina*, *Trifolium repens*, *Plantago virginica*, *Veronica didyma*, *Echinochloa crusgalli* var. *mitis*, *Eleusine indica* and *Amaranthus spinosus* in orchard ecosystem were used as test materials, and their above- and underground biomass and nitrogen uptake were measured. The results showed that under simulated N deposition, the total biomass, shoot biomass and root biomass of all weed species tended to increase, while the total biomass was differed for different functional groups of weeds. The biomass of C_4 grass, C_3 legumes and C_3 grass was significantly increased under N deposition, while that of C_3 and C_4 forbs was not significantly impacted. The root/shoot biomass ratio of *Avena fatua* and *Plantago virginica* was enhanced by N deposition, but that of *Poa annua*, *Lolium perenne*, *Medicago lupulina*, *Trifolium repens* and *Amaranthus spinosus* was not impacted significantly. N deposition had no significant effect on plant N concentration, but significantly enhanced the N uptake of all test weed species except *Amaranthus spinosus*, *Poa annua* and *Veronica didyma*. It was suggested that the further increase of N deposition might speed up the changes of the community structure of weed species due to their different responses to N deposition.

Key words Nitrogen deposition, Weed, Biomass, Nitrogen uptake.

1 引言

大气氮沉降的增加是全球变化的重要方面。据估计,全球每年沉降到陆地生态系统的活性氮达 $43.47 \text{ Tg}^{[7]}$,沉降到海洋表面的活性氮达 $27 \text{ Tg}^{[6]}$ 。氮沉降增加所引起的一系列的生态环境的改变,越来越多地受到人们关注^[10,18,21]。

研究表明,氮沉降对植物生长具有显著的影响。氮沉降是增加还是减少植物生产力,取决于这些植物所处的生态系统的 N 饱和度^[8],当植物生长受 N 限制时,一定量的氮沉降可以增加生产力,显著增加

植物的全株生物量及地上部分生物量^[12,14];当生态系统处在氮饱和状态,也就是从大气干湿沉降输入生态系统的 N 超出植物和微生物等的需求时,氮沉降就会减少生产力,因而经过长期的 N 处理后,植物的生物量随着 N 输入量的增多而下降,特别是高浓度的 N 处理减少更加显著^[12]。氮沉降在一定程度上对地上部分的生长有促进作用,同时,不利于根系的生长^[10]。研究表明,氮沉降会使根部生物量生

^{*} 国家杰出青年科学基金海外合作资助项目(30228005)。

^{**} 通讯联系人。E-mail: chenxtang@zju.edu.cn

2004 - 10 - 05 收稿,2005 - 01 - 25 接受。

产减少^[13]及根系在土层中的分布变浅^[16]. 氮沉降或引起植物含氮量的增加或没有明显变化^[14],且地上部分和地下部分的氮含量变化并不一致^[9].

我国已成为全球三大氮沉降集中区(欧洲、美国和中国)之一^[10]. 我国的氮沉降现状和未来的发展趋势十分严峻^[8,17,22]. 但目前国内关于氮沉降对陆地植物及生态系统的影响及其机制方面的研究较少,国外已有的研究也主要集中在氮沉降或施 N 处理对森林群落和灌木的影响^[10],而缺少对农业生态系统的相关研究.

杂草是农业生态系统中重要的生物组成部分,也是影响农林作物生长和导致产量下降的重要因素之一^[1,2]. 有关杂草的研究已由过去注重其危害性和防治途径,发展到现在对杂草多样性的保护以及发挥其维持生态平衡的作用方面^[3,17,19,20]. 在氮沉降全球化的环境背景下,研究和预测氮沉降对杂草的影响及其反馈,对于农业生态系统杂草的综合管理、发挥杂草资源在农业生态系统中的作用均具有重要的理论和实践意义.

为此,本试验以早熟禾(*Poa annua*)、黑麦草(*Lolium perenne*)、野燕麦(*Avena fatua*)、天蓝苜蓿(*Medicago lupulina*)、白车轴草(*Trifolium repens*) (豆科)、北美车前(*Plantago virginica*)和婆婆纳(*Veronica didyma*)以及无芒稗(*Echinochloa crus-galli* var. *mitis*)、牛筋草(*Eleusine indica*)、刺苋(*Amaranthus spinosus*)为试验材料,研究氮沉降对杂草的影响. 本试验采用的氮沉降水平为 $4.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ (相当于 $40 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$). 根据段雷等^[4]用稳态法测定的中国土壤的氮沉降临界负荷,此模拟氮沉降浓度恰好在试验土壤的临界氮沉降负荷值附近.

2 材料与方法

2.1 供试材料

土壤取自浙江省常山县的胡柚果园,土壤类型主要是由第四纪红土母质发育成的红壤. 供试土壤的速效氮、速效磷、速效钾含量分别为 $44.32 \pm 5.16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $9.27 \pm 0.78 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $54.6 \pm 5.34 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

10 个供试物种是南方丘陵坡地果园的主要杂草,分别为早熟禾(禾本科)、黑麦草(禾本科)、野燕麦(禾本科)、天蓝苜蓿(豆科)、白车轴草(豆科)、北美车前(车前草科)和婆婆纳(玄参科)以及无芒稗(禾本科)、牛筋草(禾本科)、刺苋(苋科).

2.2 研究方法

2.2.1 试验设计 试验采用盆栽方法于温室内进行. 试验设对照和模拟 N 处理,对照是在原有土壤条件下不输入 N,模

拟氮沉降处理在原有土壤条件下进行人工输入 N, N 的输入量为 $4.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$,即 1 m^2 输入 4 g 纯氮,以 NH_4NO_3 溶液的形式在植物生长季节中分 3 次进行. 设 4 次重复,随机区组排列.

2.2.2 取样与测定 供试植物在播种后的第 90 天收获取样,将完整的杂草植株连同根系从盆中取出,洗净,将根部与地上部分分离;放入烘箱内,105℃ 预处理 30 min,80℃ 烘干 48 h;取出称量,测定生物量及根冠比. 植物地上部分及根的全氮含量均用凯氏法测定. 试验数据采用 SPSS 11.0 进行统计分析.

3 结果与分析

3.1 模拟氮沉降对植物生长的影响

试验表明,模拟氮沉降处理下,杂草的生物量(总生物量、地上部分生物量、根生物量)呈增加趋势(图 1). 但不同功能类群对氮增加的响应明显不同,从总生物量来看, N 输入明显增加 C_4 禾本科、 C_3 豆科、 C_3 禾本科的黑麦草和 C_3 非禾本科的北美车前的生物量 ($P < 0.05$),其中天蓝苜蓿、北美车前和白车轴草增加最为显著,分别增加了 237.83%、138.49% 和 110.45% (图 1);地上部分生物量对氮沉降处理的响应趋势与总生物量相似,天蓝苜蓿、北美车前和白车轴草地上部分生物量分别增加了 225.00%、138.11% 和 134.38%;从根生物量看,氮沉降处理显著增加 C_4 禾本科、 C_3 豆科、 C_3 禾本科和 C_3 非禾本科的北美车前生物量 ($P < 0.05$),其中天蓝苜蓿的根生物量增加了 284.85%,北美车前和黑麦草分别增加了 210% 和 79.50%.

3.2 模拟氮沉降对植物根冠比的影响

试验结果表明,模拟氮沉降处理对各不同杂草物种根冠比的影响不一致(图 2). 氮处理的野燕麦和北美车前的根冠比与对照相比显著增加 ($P < 0.05$),而婆婆纳、牛筋草和无芒稗的根冠比则显著下降 ($P < 0.05$),氮处理的其余 5 个物种植物的根冠比与对照没有显著差异.

3.3 模拟氮沉降对植株全氮含量的影响

图 3 结果表明,模拟氮沉降处理植株和根系氮的含量在不同功能类群之间均无规律性,但物种之间有明显差异. 与对照相比,模拟氮沉降处理的野燕麦、无芒稗和白车轴草地上部分全氮含量显著减少 ($P < 0.05$) 分别减少了 14.93%、42.7% 和 17.45%;而黑麦草和天蓝苜蓿显著增加 ($P < 0.05$),分别增加了 22.00% 和 44.09%,其余 5 个物种植物与对照没有显著差异. 牛筋草、北美车前和天蓝苜蓿根的全氮含量较对照分别增加了 37.49%、

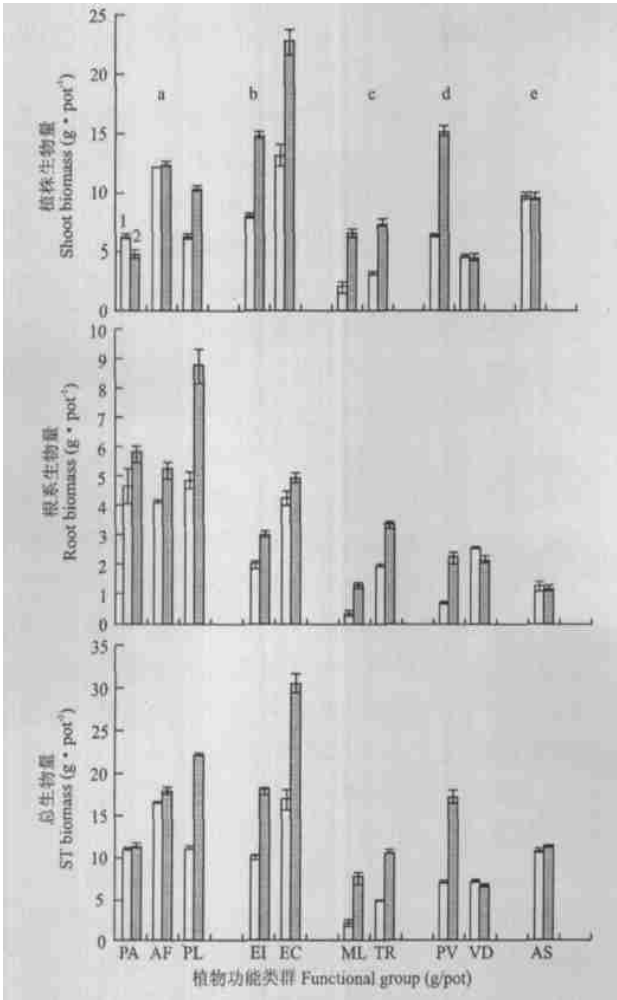


图1 模拟氮沉降对植物生物量的影响
Fig. 1 Effects of simulated nitrogen deposition on biomass of different plant specise.
PA:早熟禾 *Poa annua*;AF:野燕麦 *Avena fatua*;LP:黑麦草 *Lolium perenne*;EI:牛筋草 *Eleusine indica*;EC:无芒稗 *Echinochloa crusgalli* var. *mitis*;PV:北美车前 *Plantago virginica*;VD:婆婆纳 *Veronica didyma*;AS: 刺苋 *Amaranthus spinosus*;ML: 天蓝苜蓿 *Medicago lupulina*;TR:白车轴 *Trifolium repens*. a) C₃ 禾本科 C₃ grass;b) C₄ 禾本科 C₄ grass;c) C₃ 豆科 C₃ legum;d) C₃ 非禾本科 C₃ forb;e) C₄ 非禾本科 C₄ forb;1) 对照 Control N;2) N 处理 Elevated N. 下同. The same below.

62.30 %和42.07 % ,早熟禾和婆婆纳则分别下降了

表1 模拟氮沉降对不同植物物种的地上部分和根吸收 N 的影响

Table 1 Effects of simulated nitrogen deposition on shoot and root biomass N (mg · pot⁻¹)

植物功能类群 Functional groups	物种 Species	地上部氮含量 Shoot biomass N		根氮含量 Root biomass N	
		对 照 Control	氮处理 N treatment	对 照 Control	氮处理 N treatment
C ₃ 禾本科 C ₃ grass	早熟禾 <i>Poa annua</i>	50.66 ±7.27	46.06 ±4.45	16.95 ±1.03 *	8.04 ±0.67 *
	野燕麦 <i>Avena fatua</i>	139.62 ±5.97	129.86 ±1.94	13.61 ±1.26 *	17.30 ±0.78 *
	黑麦草 <i>Lolium perenne</i>	70.33 ±1.65 **	139.71 ±9.43 **	26.72 ±0.46 **	43.55 ±2.71 **
C ₄ 禾本科 C ₄ grass	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	73.90 ±2.96 **	120.90 ±6.24 **	14.44 ±0.57 **	24.27 ±0.73 **
	无芒稗 <i>Echinochloa crusgalli</i>	131.40 ±5.21	126.26 ±6.14	27.03 ±0.86 *	35.57 ±2.53 **
	北美车前 <i>Plantago virginica</i>	51.26 ±3.69 **	101.82 ±4.96 **	2.35 ±0.19 **	13.26 ±0.87 **
C ₃ 非禾本科 C ₃ forb	婆婆纳 <i>Veronica didyma</i>	63.82 ±1.89	54.62 ±3.81	19.04 ±0.62 **	7.30 ±1.08 **
	天蓝苜蓿 <i>Medicago lupulina</i>	45.72 ±2.26 **	189.80 ±15.43 **	6.25 ±1.61 *	26.41 ±3.91 *
	白车轴草 <i>Trifolium repens</i>	27.62 ±1.73 **	63.40 ±2.06 **	21.03 ±0.86 **	33.90 ±1.16 **
Legume C ₄ 非禾本科 C ₄ forb	刺 苋 <i>Amaranthus spinosus</i>	86.89 ±1.39	98.32 ±2.85	5.57 ±0.12	5.86 ±0.53

* P<0.05; ** P<0.01.

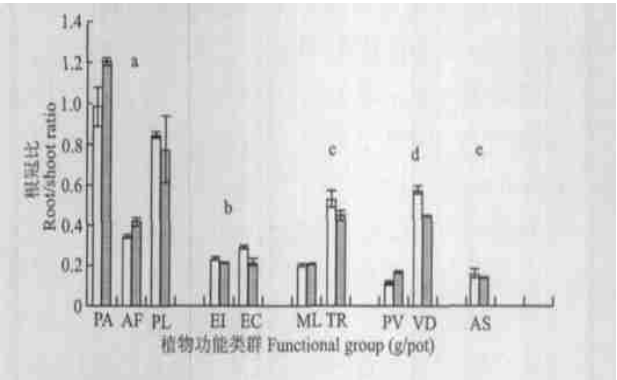


图2 模拟氮沉降对不同物种植物的根冠比的影响
Fig.2 Effects of simulated nitrogen deposition on the ratio of root to shoot.

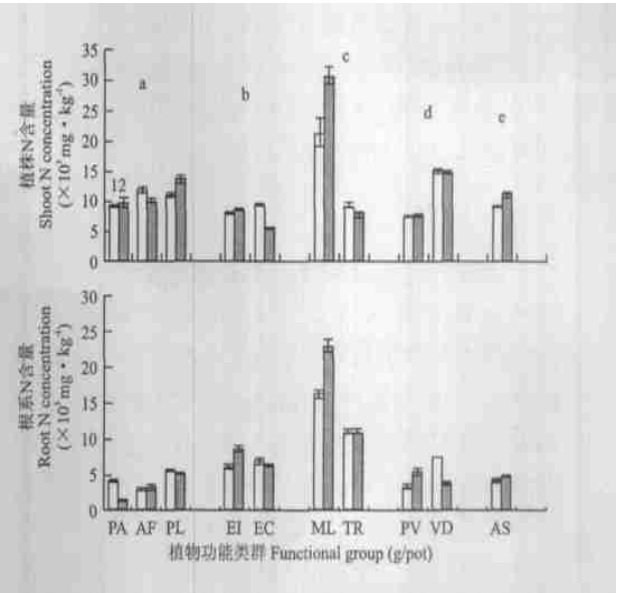


图3 模拟氮沉降对不同物种植物的全氮含量的影响
Fig. 3 Effects of simulated nitrogen deposition on N concentration in various plant species.

66.12 %和49.95 % (P<0.05) ;其余 5 个物种植物与对照没有显著差异.

3.4 模拟氮沉降对植物吸收的 N 总量的影响

表1 是植物地上部分及根吸收 N 的总量(以盆为单位计). 由表1 可见 ,模拟氮沉降处理后 ,地上部

分吸收总 N 呈增加趋势,但功能类群之间无规律.从物种之间的差异看,黑麦草、牛筋草、北美车前、天蓝苜蓿和白车轴草的地上部分吸收 N 总量均极显著高于对照 ($P < 0.01$),分别增加了 98.66%、63.60%、98.63%、315.17%和 129.54%;其余 5 个物种植物与对照没有显著差异 ($P > 0.05$).

根吸收 N 的总量与植物地上部分相似,模拟氮沉降处理功能类群之间无明显规律.物种之间除刺苋根吸收的 N 总量与对照没有显著差异外,其余 9 个物种植物根吸收的 N 总量均发生显著变化 ($P < 0.05$).其中,早熟禾根吸收的 N 总量较对照减少了 52.57%,婆婆纳根减少了 61.70%,野燕麦、黑麦草、牛筋草、稗草、北美车前、天蓝苜蓿和白车轴草则分别增加了 27.11%、71.86%、68.10%、31.60%、464.61%、322.37%和 61.20%.

4 讨 论

本研究发现,不同功能类群间对氮增加的响应存在差异. C_4 禾本科、 C_3 禾本科和 C_3 豆科植物的生物量对 N 增加的响应明显大于功能类群 C_3 非禾本科及 C_4 非禾本科植物. Reich 等^[15]研究发现,土壤 N 增加使 C_3 禾本科生物量的增加最明显,但豆科植物的增加不明显.从杂草物种的总体趋势看,模拟氮沉降处理,生物量呈增加趋势 ($P < 0.05$),这说明 $4.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 的氮沉降量将有利于农田杂草的生长.现有的研究表明,氮沉降在一定程度上对植物地上部分的生长有促进作用的同时,不利于其根系的生长^[10].如 Persson 等^[13]研究表明,氮沉降使根部生物量生产减少, Schulze^[16]报道氮沉降会使根系在土层中的分布变浅, Johansson^[9]研究发现,植物根生物量在施氮处理下并没有发生明显变化,但是本试验中只有婆婆纳的根部生物量较对照显著减少 ($P < 0.05$),早熟禾和刺苋与相应对照没有显著差异,而其他 7 个物种植物均显著增加 ($P < 0.05$).

根冠比经常作为衡量植株生长状态特别是植株对土壤水分、养分状态反应的一个指标^[20].李德军^[10]对树种的研究发现,氮沉降使根的生产下降及分布变浅,又在一定程度上促进了地上部分的生长,最终引起根冠比的减少. Fluckiger 和 Braun^[5]试验发现,施氮增加可降低盆栽条件下山毛榉及挪威云杉幼苗的根冠比.但氮沉降对草本植物根冠比影响的研究仍较少,在本试验中,除婆婆纳、无芒稗、牛筋草在经过模拟氮沉降处理后,其根冠比明显低于相应的对照 ($P < 0.05$) 外,其余物种的根冠比或高于

对照或无显著差异(图 2),功能类群间无明显变化规律.

目前,氮沉降对不同物种植物全氮含量的研究主要集中在树木. Power 等^[14]发现,经过氮沉降处理的当年生植物地上部分氮含量显著增加,而 2~4 年树龄植物的地上部分氮含量有微弱的增加但并不显著; Johansson^[9]研究发现,在接受氮处理后,植物地下部分的氮含量和地上部分变化并不一致,后者比对照明显增加,前者与对照几乎没有差异.在本试验中,只有黑麦草和天蓝苜蓿的地上部分全氮含量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 有显著增加,而大部分物种(早熟禾、牛筋草、北美车前、婆婆纳和刺苋)的地上部分全氮含量无明显变化,甚至一些物种(野燕麦、无芒稗和白车轴草)的地上部分全氮含量显著减少;在根部全氮含量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 方面,氮沉降对黑麦草、野燕麦、婆婆纳、天蓝苜蓿和白车轴草根部的全氮含量没有产生显著变化;但也使一些物种根的全氮含量显著增加(牛筋草、北美车前和稗草)或减少(早熟禾和婆婆纳).同时发现,同一物种的地上部分氮含量和地下部分氮含量的变化也不一致(图 3).

Lumme 等^[11]研究发现,根及叶片吸收的氮与氮的供应量呈正相关,即随着氮供应量增加,植物吸收的 N 总量亦增加; Power 等^[14]发现,植物地上部分贮存的 N 总量在氮沉降处理后有显著增加.本试验中,氮沉降使黑麦草、牛筋草、北美车前、天蓝苜蓿和白车轴草地上部分吸收的总氮量 ($\text{mg} \cdot \text{pot}^{-1}$) 显著增加,而其余 5 个物种则无明显变化. Power 等^[14]报道氮沉降对含有植物细根的土壤 N 总量的影响,认为氮沉降的增加可使表层 10 cm 厚的土壤层(含植物细根)含有的 N 总量显著增加,但对植物根部 N 的总量影响未见报道.本研究发现,氮沉降使得大部分物种(野燕麦、黑麦草、牛筋草、稗草、北美车前、天蓝苜蓿和白车轴草)根系 N 总量 ($\text{mg} \cdot \text{pot}^{-1}$) 显著增加,仅少数物种根系 N 总量显著减少(早熟禾和婆婆纳)或没有发生明显的变化(刺苋).

由此可见,杂草功能类群及杂草物种对氮沉降的响应产生明显差异,因而在未来氮沉降增加的环境条件下,杂草群落组成可能会发生一些变化,一些物种(如天蓝苜蓿、北美车前、白车轴草、黑麦草和牛筋草等)将逐渐成为优势种,而另一些物种(如早熟禾、婆婆纳)可能变为弱勢种.因此,在未来杂草管理中应注意杂草群落的管理,对不同的物种采取不同的管理方式.

参考文献

- 1 Chen X(陈 欣), Wang Z-Q(王兆骞), Tang J-J(唐建军). 2000. The ecological functions of weeds biodiversity in agroecosystem. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **19**(4): 50 ~ 52 (in Chinese)
- 2 Chen X(陈 欣), Tang J-J(唐建军), Zhao H-M(赵惠明), et al. 2003. Sustainable utilization of weed diversity resources in agroecosystem. *J Nat Resour* (自然资源学报), **18**(3): 340 ~ 346 (in Chinese)
- 3 Chen X(陈 欣), Tang J-J(唐建军), Fang Z-G(方治国), et al. 2003. Ecological role of weeds conserved in orchard in red soil hilly area during hot-dry season. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **22**(6): 38 ~ 42 (in Chinese)
- 4 Duan L(段 雷), Hao J-M(郝吉明), Xie S-D(谢绍东), et al. 2002. Estimating critical loads of sulfur and nitrogen for Chinese soil by steady state method. *Environ Sci* (环境科学), **23**(2): 7 ~ 12 (in Chinese)
- 5 Fluckiger W, Braun S. 1998. Nitrogen deposition in Swiss forests and its possible relevance for leaf nutrient status, parasite attacks and soil acidification. *Environ Poll*, **102**(suppl. 1): 69 ~ 76
- 6 Galloway JN, Cowling EB. 2002. Reactive nitrogen and the world: 200 years of change. *AMBIO*, **31**: 64 ~ 71
- 7 Holland EA, Dentene FJR, Braswell BH, et al. 1999. Contemporary and pre-industrial global reactive nitrogen budgets. *Biogeochemistry*, **46**: 7 ~ 43
- 8 Huang Z-L(黄忠良), Ding M-M(丁明懋), Zhang Z-P(张祝平), et al. 1994. Hydrological process and nitrogen dynamic of monsoon evergreen broadleaf forests in Dinghushan Nature Reserve. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **18**(2): 194 ~ 199 (in Chinese)
- 9 Johansson M. 2000. The influence of ammonium nitrate on the root growth and ericoid mycorrhizal colonization of *Calluna vulgaris* (L.) Hull from a Danish heathland. *Oecologia*, **123**: 418 ~ 424
- 10 Li D-J(李德军). 2003. Impact of nitrogen deposition on forest plants. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **23**(9): 1893 ~ 1900 (in Chinese)
- 11 Lumme I, Smolander A. 1996. Effect of nitrogen deposition level on nitrogen uptake and bud burst in Norway spruce (*Picea abies* Karst) seedlings and N uptake by soil microflora. *For Ecol Man*, **89**(1 ~ 3): 197 ~ 204
- 12 Magill AH, Aber JD, Berntson GM, et al. 2000. Long-term nitrogen additions and nitrogen saturation in two temperate forests. *Ecosystems*, **3**: 238 ~ 253
- 13 Persson H, Ahlstrom K, Clemensson LA. 1998. Nitrogen addition and removal at Gardsjon: Effects on fine-root growth and fine-root chemistry. *For Ecol Man*, **101**(1 ~ 3): 199 ~ 205
- 14 Power SA, Ashmore MR, Cousins DA. 1998. Impacts and fate of experimentally enhanced nitrogen deposition on a British lowland health. *Environ Poll*, **102**: 27 ~ 34
- 15 Reich PB, Buschena C, Tjoelker MG, et al. 2003. Variation in growth rate and ecophysiology among 34 grassland and savanna species under contrasting N supply: A test of functional group differences. *New Phytol*, **157**(3): 617 ~ 631
- 16 Schulze ED. 1989. Air pollution and forest decline in a spruce (*Picea abies*) forest. *Science*, **244**: 776 ~ 783
- 17 Sha L-Q(沙丽清), Zhen Z(郑 征), Feng L-Z(冯志立). 2002. Biogeochemical cycling of nitrogen at a tropical seasonal rain forest in Xishuangbanna, SW China. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **26**(6): 689 ~ 694 (in Chinese)
- 18 Tu X-L(涂修亮), Chen Y-M(陈英明). 2002. Scientific management of weed: Theory and implementation. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **21**(1): 62 ~ 64 (in Chinese)
- 19 Wu C-H(吴春华), Chen X(陈 欣), Wang Z-Q(王兆骞). 2004. Lead absorption by weeds from lead-polluted soil. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(8): 1451 ~ 1454 (in Chinese)
- 20 Xue G(薛 光). 1995. Research progress in weed ecology and biology. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **14**(5): 63 ~ 65 (in Chinese)
- 21 Yan X-F(阎秀峰), Wang Q(王 琴). 2002. Effects of ectomycorrhizal inoculation on the seedling growth of *Quercus liaotungensis*. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **26**(6): 701 ~ 707 (in Chinese)
- 22 Zhou G-Y(周国逸), Yan J-H(闫俊华). 2001. The influences of regional atmospheric precipitation characteristics and its element inputs on the existence and development of Dinghushan forest ecosystems. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **21**(12): 2002 ~ 2012 (in Chinese)

作者简介 蒋琦清,女,1981年生,硕士生.主要从事生物多样性的生态学功能研究. Tel:0571-86971154; E-mail:jiangqiqi@sohu.com
