

腐解6个月后杉木枯枝落叶及腐殖土中的化感成分对杉木种子的化感效应

曹光球¹, 刘学芝², 林思祖^{1,①}, 胡宗庆³, 王凌霄¹

(1. 福建农林大学林学院, 福建 福州 350002; 2. 郑州大学环境技术咨询工程公司, 河南 郑州 450002;
3. 福建林业职业技术学院, 福建 南平 353000)

摘要: 对腐解6个月后杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 枯枝落叶及腐殖土中的化感成分进行了提取分离及生物检测。结果表明, 枯枝落叶及腐殖土中的极性和弱极性化感成分对杉木种子的绝对发芽率、绝对发芽势、胚根长和胚轴长均有一定的抑制作用。随浓度的提高, 枯枝落叶中的弱极性化感成分对绝对发芽率、胚轴长及幼苗干质量的抑制作用及极性化感成分对绝对发芽率、胚轴长的抑制作用均逐渐增强; 腐殖土中的弱极性化感成分对绝对发芽率、绝对发芽势、胚根长及胚轴长的抑制作用及极性化感成分对胚轴长的抑制作用也逐渐增强。枯枝落叶中的化感成分对绝对发芽率、绝对发芽势及幼苗干质量的抑制效应高于腐殖土中的化感成分。

关键词: 杉木; 枯枝落叶; 腐解阶段; 化感效应

中图分类号: S718.5; Q948.113 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0978(2008)02-0039-05

Allelopathic effect of allelochemicals in *Cunninghamia lanceolata* litter and humus soil on its seed germination after decomposing for six months CAO Guang-qiu¹, LIU Xue-zhi², LIN Si-zu^{1,①}, HU Zong-qing³, WANG Ling-xiao¹ (1. Forest College of Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Engineering Corporation of Environment Technology Consultation, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 3. Fujian Forestry Professional and Technological College, Nanping 353000, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2008, 17(2): 39-43

Abstract: Allelochemicals in *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. litter and humus soil were extracted and bioassayed after decomposing for six months. The bioassay results showed that the polar and little-polar allelochemicals in litter and humus soil had the inhibition to absolute germination rate, absolute germination potential, radical length and plumular axis length of *C. lanceolata* seed. The inhibition of little-polar allelochemicals in litter to absolute germination rate, plumular axis length and dry weight of seedling increased gradually and that of polar allelochemicals in litter to absolute germination potential and plumular axis length also increased with the concentration rising. The inhibition of little-polar allelochemicals in humus soil to absolute germination rate, absolute germination potential, radical length and plumular axis length increased constantly and that of polar allelochemicals in humus soil to plumular axis length also increased with the concentration rising. The allelochemicals in litter of *C. lanceolata* had a stronger inhibitory effect on absolute germination rate, absolute germination potential and dry weight of seedlings of *C. lanceolata* than that in humus soil.

Key words: *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.; litter; decomposed phase; allelopathic effect

自毒作用是指植物向环境释放的化学物质积累到一定程度后, 对自身产生的一种直接或间接的有害作用。自毒作用是化感作用的一种特殊表现形式, 是植物无益代谢过度积累导致自身生长受到抑制的现象。在逆境胁迫条件下, 自毒作用可上升为主导因素, 影响植物群落的演替与更新。枯枝落叶

及植株残体腐解是化感成分的主要来源。枯枝落叶

收稿日期: 2007-04-23

基金资助: 福建省自然科学基金资助项目(B0610002); 福建省教育厅资助项目(JB05298); 福建省森林培育重点学科项目

作者简介: 曹光球(1974—), 男, 福建上杭人, 博士, 助理研究员, 主要从事森林培育及化学生态等领域的研究工作。

① 通讯作者 E-mail: szlin53@126.com

中的化感成分在土壤微生物的作用下逐步向环境释放,且在不同腐解阶段,源植物的化感成分对受体的化感效应将随着释放的化感成分的变化而变化,这一结果已被诸多学者证实^[1-3]。

近年来的研究表明,杉木 [*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.] 自毒作用是引起杉木纯林连栽地地力下降的重要原因之一^[4]。有关杉木自毒作用的研究主要局限于某一时间杉木各器官化感成分的自毒作用、杉木根系分泌物化感效应、逆境胁迫条件对杉木自毒成分活性影响以及杉木主要混交树种对杉木的化感作用等方面^[5-17]。为此,作者通过不同腐解阶段杉木枯枝落叶及腐殖土中的化感成分对杉木种子化感作用的跟踪研究,探讨杉木自毒效应的动态变化规律,为杉木自毒作用的持续深入研究奠定基础。在前期研究的基础^[18]上,本文主要报道了腐解6个月后杉木枯枝落叶及腐殖土中的化感成分对杉木种子化感效应的研究结果,以期对杉木自毒作用研究提供更为详实的资料,同时也为杉木人工林的可持续经营提供一定的参考依据。

1 材料和方法

1.1 材料

于2003年12月,在福建省南平市福建农林大学西芹教学林场连栽2代的杉木人工林当年采伐迹地收集尚未接触地表的枯枝落叶,带回实验室备用。另外,同时、同地采集该杉木人工林山坡上部20~60 cm土层的土壤及撩荒迹地60~100 cm土层的黄心土,按体积比1:5比例混合后作为腐殖土。分别称取2 500 g腐殖土和100 g枯枝落叶,按文献^[18]的方法进行腐解。腐解6个月后,将尚未腐解的枯枝落叶及腐殖土分别阴干后备用。

供试的杉木种子由福建洋口国有林场提供,种子千粒重7.496 2 g,相对含水率10.05%。

1.2 方法

1.2.1 化感成分的提取及分离 腐解6个月后,按文献^[18]的方法分别提取分离杉木枯枝落叶及腐殖土中的化感成分,获得溶于丙酮的弱极性化感成分和不溶于丙酮的极性化感成分。

分别称取上述提取物0.04 g,用2 mL无水乙醇溶解后,用蒸馏水定容至200 mL,配制成浓度为200 mg·L⁻¹的处理液,然后分别用蒸馏水稀释成100

和50 mg·L⁻¹处理液。

1.2.2 化感成分的生物检测 采用杉木发芽实验进行化感成分的生物检测,具体方法见文献^[18]。处理液浓度为200、100和50 mg·L⁻¹,设置2个对照:对照I为蒸馏水,对照II分别为未加枯枝落叶的腐殖土极性化感成分及弱极性化感成分提取液(浓度均为200 mg·L⁻¹)。第3天开始统计发芽的种子数,第10天测定绝对发芽势和绝对发芽率,第15天测定胚根长、胚轴长及幼苗干质量。

1.3 数据处理

采用DPS统计分析软件对各发芽指标进行方差分析和LSD多重比较分析。

2 结果和分析

2.1 杉木枯枝落叶中的化感成分对杉木种子的化感效应分析

2.1.1 弱极性化感成分的化感效应 腐解6个月后,杉木枯枝落叶中的弱极性化感成分对杉木种子的绝对发芽率、绝对发芽势、胚根长、胚轴长及幼苗干质量具有不同程度的化感效应,具体实验结果见表1。

由表1可见,杉木枯枝落叶中的弱极性化感成分对绝对发芽率、胚轴长及幼苗干质量的抑制作用均随浓度的提高而逐渐增强;100 mg·L⁻¹弱极性化感成分对绝对发芽势和胚根长的抑制作用最强。与50 mg·L⁻¹处理组相比,200 mg·L⁻¹处理组杉木种子的绝对发芽率、绝对发芽势、胚轴长及幼苗干质量分别降低了9.91%、12.48%、7.97%和37.04%,而胚根长则提高了2.56%。方差分析及多重比较结果表明,3个处理组的杉木种子的绝对发芽率、绝对发芽势及胚根长与对照(蒸馏水)间的差异达极显著水平;各处理组的杉木种子的胚轴长与对照(蒸馏水)间的差异达显著水平。

2.1.2 极性化感成分的化感效应 腐解6个月后,杉木枯枝落叶中的极性化感成分对杉木种子的绝对发芽率、绝对发芽势、胚根长、胚轴长和幼苗干质量具有不同程度的化感效应,实验结果见表2。

由表2可见,杉木枯枝落叶中的极性化感成分对杉木种子的绝对发芽势和胚轴长的抑制作用随浓度的提高而逐渐增强;100 mg·L⁻¹极性化感成分对杉木种子的绝对发芽率、胚根长和幼苗干质量抑制

作用最强。与对照(蒸馏水)相比,200 mg·L⁻¹处理组的绝对发芽率、绝对发芽势、胚根长、胚轴长及幼苗干质量分别降低了28.29%、56.09%、44.16%、47.02%和18.18%。方差分析及多重比

较结果表明,不同处理组杉木种子的绝对发芽率、绝对发芽势、胚根长及胚轴长与对照间差异极显著;100 mg·L⁻¹处理组杉木种子的绝对发芽率与50和200 mg·L⁻¹处理组间的差异达极显著水平。

表1 腐解6个月后杉木枯枝落叶中的弱极性化感成分对杉木种子发芽的化感效应¹⁾

Table 1 Allelopathic effect of little-polar allelochemicals in *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. litter on its seed germination after decomposing for six months¹⁾

浓度/mg·L ⁻¹ Concentration	绝对发芽率/% Absolute germination rate	绝对发芽势/% Absolute germination potential	胚根长/cm Radical length	胚轴长/cm Plumular axis length	幼苗干质量/g Dry weight of seedling
50	69.30 ± 1.74ABb	40.30 ± 3.46Bb	1.56 ± 0.04ABb	1.38 ± 0.03Aab	0.27 ± 0.02Aa
100	65.05 ± 3.49Bb	35.18 ± 2.69Bb	1.51 ± 0.05Bb	1.33 ± 0.02Aab	0.25 ± 0.01Aa
200	62.43 ± 3.22Bb	35.27 ± 0.30Bb	1.60 ± 0.05ABb	1.27 ± 0.05Aab	0.17 ± 0.06Aa
CK I	87.73 ± 1.30Aa	65.25 ± 2.42Aa	2.31 ± 0.03Aa	1.68 ± 0.06Aa	0.33 ± 0.01Aa

¹⁾表中数据为4次重复的平均值 Datums in the table are the average of four replications; 同列中不同的大写和小写字母分别表示在0.01和0.05水平上差异显著 Different capitals and small letters in the same column indicate the significant difference at 0.01 and 0.05 levels respectively; CK I: 蒸馏水 Distilled water.

表2 腐解6个月后杉木枯枝落叶中的极性化感成分对杉木种子发芽的化感效应¹⁾

Table 2 Allelopathic effect of polar allelochemicals in *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. litter on its seed germination after decomposing for six months¹⁾

浓度/mg·L ⁻¹ Concentration	绝对发芽率/% Absolute germination rate	绝对发芽势/% Absolute germination potential	胚根长/cm Radical length	胚轴长/cm Plumular axis length	幼苗干质量/g Dry weight of seedling
50	64.88 ± 9.33Bb	40.28 ± 7.41ABb	1.50 ± 0.01ABb	1.02 ± 0.06Bb	0.29 ± 0.03Aab
100	41.45 ± 5.48Cc	29.16 ± 2.94Bb	1.15 ± 0.04Bb	0.98 ± 0.05Bb	0.19 ± 0.08Ab
200	62.91 ± 6.70Bb	28.65 ± 8.24Bb	1.29 ± 0.03Bb	0.89 ± 0.03Bb	0.27 ± 0.01Aab
CK I	87.73 ± 1.30Aa	65.25 ± 2.42Aa	2.31 ± 0.03Aa	1.68 ± 0.06Aa	0.33 ± 0.01Aa

¹⁾表中数据为4次重复的平均值 Datums in the table are the average of four replications; 同列中不同的大写和小写字母分别表示在0.01和0.05水平上差异显著 Different capitals and small letters in the same column indicate the significant difference at 0.01 and 0.05 levels respectively; CK I: 蒸馏水 Distilled water.

2.2 腐殖土中的化感成分对杉木种子的化感效应分析

2.2.1 弱极性化感成分的化感效应

腐解6个月后,腐殖土中的弱极性化感成分对杉木种子的绝对发芽率、绝对发芽势、胚根长、胚轴长及幼苗干质量具有不同程度的化感效应,实验结果见表3。

由表3可见,随腐殖土中化感成分浓度的提高,各处理组杉木种子的绝对发芽率、绝对发芽势、胚根长及胚轴长均逐渐下降,其中50 mg·L⁻¹处理组杉木种子的绝对发芽率、绝对发芽势和胚轴长均高于对照组(未加枯枝落叶的腐殖土弱极性化感成分提取液),100 mg·L⁻¹处理组的胚轴长高于对照组。与对照组相比,100 mg·L⁻¹处理组的幼苗干质量低于对照组,50和200 mg·L⁻¹处理组则略高于对照组。与50 mg·L⁻¹处理组相比,200 mg·L⁻¹处理组的绝对发芽率、绝对发芽势、胚根长、胚轴长分别降低了23.28%、21.08%、30.98%和19.87%。方差分

析及多重比较结果表明,3个处理组杉木种子的胚根长与对照差异极显著,各处理组杉木种子的绝对发芽率和胚轴长与对照有显著差异。

2.2.2 极性化感成分的化感效应

腐解6个月后,腐殖土中的极性化感成分对杉木种子的绝对发芽率、绝对发芽势、胚根长、胚轴长及幼苗干质量具有不同程度的化感效应,具体实验结果见表4。

由表4可见,随着处理浓度的提高,腐殖土中的极性化感成分对杉木种子胚轴长的抑制作用逐渐增强;100 mg·L⁻¹腐殖土极性化感成分对杉木种子的绝对发芽势及胚根长的抑制作用最强,而对绝对发芽率的抑制作用小于50和200 mg·L⁻¹处理组。与50 mg·L⁻¹处理组相比,200 mg·L⁻¹处理组杉木种子的绝对发芽率、绝对发芽势、胚根长和胚轴长分别降低了3.30%、25.27%、12.63%和24.26%。方差分析及多重比较结果表明,3个处理组杉木种子的绝对发芽率、胚根长和胚轴长与对照的差异极显著;各

表 3 腐解 6 个月后腐殖土中的弱极性感成分对杉木种子发芽的化感效应¹⁾Table 3 Allelopathic effect of little-polar allelochemicals in humus soil on seed germination of *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. after decomposing for six months¹⁾

浓度/mg · L ⁻¹ Concentration	绝对发芽率/% Absolute germination rate	绝对发芽势/% Absolute germination potential	胚根长/cm Radical length	胚轴长/cm Plumular axis length	幼苗干质量/g Dry weight of seedling
50	80.62 ± 3.76 Aab	63.58 ± 3.73 Aa	1.84 ± 0.06 ABab	1.56 ± 0.04 Aab	0.30 ± 0.03 Aa
100	61.91 ± 3.04 Ab	54.34 ± 1.45 Aab	1.62 ± 0.08 ABbc	1.48 ± 0.09 Aab	0.24 ± 0.00 Aa
200	61.85 ± 5.62 Ab	50.18 ± 4.65 Aab	1.27 ± 0.04 Bc	1.25 ± 0.04 Ab	0.30 ± 0.01 Aa
CK II	79.42 ± 1.56 Aa	61.81 ± 2.42 Aa	2.45 ± 0.04 Aa	1.42 ± 0.07 Aa	0.28 ± 0.01 Aa

¹⁾表中数据为 4 次重复的平均值 Datums in the table are the average of four replications; 同列中不同的大写和小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平上差异显著 Different capitals and small letters in the same column indicate the significant difference at 0.01 and 0.05 levels respectively; CK II: 未加枯枝落叶的腐殖土弱极性提取液 Little-polar extraction solution of humus soil without adding litter.

表 4 腐解 6 个月后腐殖土中的极性感成分对杉木种子发芽的化感效应¹⁾Table 4 Allelopathic effect of polar allelochemicals in humus soil on seed germination of *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. after decomposing for six months¹⁾

浓度/mg · L ⁻¹ Concentration	绝对发芽率/% Absolute germination rate	绝对发芽势/% Absolute germination potential	胚根长/cm Radical length	胚轴长/cm Plumular axis length	幼苗干质量/g Dry weight of seedling
50	75.11 ± 5.79 ABb	56.50 ± 1.48 Ab	1.90 ± 0.10 Bab	1.36 ± 0.06 ABab	0.25 ± 0.04 Aa
100	76.18 ± 2.42 ABb	37.32 ± 4.27 Ab	1.53 ± 0.03 Bbc	1.06 ± 0.06 Bb	0.32 ± 0.00 Aa
200	72.63 ± 7.86 Bbc	42.22 ± 2.02 Ab	1.66 ± 0.08 Bbc	1.03 ± 0.04 Bb	0.28 ± 0.03 Aa
CK II	84.42 ± 1.49 Aa	58.43 ± 1.89 Aa	2.07 ± 0.06 Aa	1.98 ± 0.12 Aa	0.31 ± 0.03 Aa

¹⁾表中数据为 4 次重复的平均值 Datums in the table are the average of four replications; 同列中不同的大写和小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平上差异显著 Different capitals and small letters in the same column indicate the significant difference at 0.01 and 0.05 levels respectively; CK II: 未加枯枝落叶的腐殖土极性提取液 Polar extraction solution of humus soil without adding litter.

处理组杉木种子的绝对发芽势与对照的差异达显著水平。

3 小结和讨论

种子发芽实验是化感作用研究中最常用的生物检测手段之一^[19]。腐解 6 个月后,杉木枯枝落叶及腐殖土中的极性和弱极性感成分对杉木种子发芽的各指标具有不同的化感效应,这主要是由杉木枯枝落叶及腐殖土中的化感成分种类不同所致,其中有些化感成分对杉木种子的某些发芽指标有促进作用,而另一些化感成分则对杉木种子的某些发芽指标产生了抑制作用。

利用不同化感成分在 2 种不相溶溶剂或部分互溶溶剂中溶解度的不同可达到分离纯化的目的^[20-21]。以丙酮为萃取剂,从腐解 6 个月的杉木枯枝落叶和腐殖土中提取及分离出极性和弱极性的化感成分。生物检测结果表明,腐解 6 个月后,杉木枯枝落叶中的化感成分对杉木种子的绝对发芽率、绝对发芽势及幼苗干质量的抑制效应强于腐殖土中的化感成分。其中,枯枝落叶中的极性感成分对杉木种子的绝对发芽势、胚根长及胚轴长的抑制效应

强于弱极性感成分;腐殖土中的弱极性感成分对杉木种子的绝对发芽率和胚根长的抑制作用强于极性感成分。

与腐解 3 个月后杉木枯枝落叶及腐殖土中化感成分的化感效应^[18]相比,腐解 6 个月后,杉木枯枝落叶及腐殖土中的化感成分对杉木种子发芽的抑制作用有一定幅度的增加。

自毒物质具有一个积累的过程。当杉木自毒物质在林地土壤积累到一定程度后,通过影响土壤微生物的种类及活性、提高土壤水势以及损害细胞结构等作用,进而影响杉木的生长,且随着时间的延长,这种伤害作用会愈加明显。杉木自毒物质对杉木幼苗的伤害作用主要包括提高溶液水势、破坏幼苗细胞结构、减缓根尖细胞的分裂速度和降低幼苗根系的吸收能力。提高溶液水势是自毒物质影响杉木种子发芽及幼苗生长的一个外在表现形式,当这一因素与其他 3 个不利的影响因素综合作用,将对杉木种子萌发及幼苗生长产生综合的伤害作用。

参考文献:

- [1] Patrick Z A. Phytotoxic substance associated with the decomposition in soil plant residues[J]. Soil Science, 1963, 111(1): 13-19.
- [2] Gonzalez L, Souto X C, Reigosa M J. Allelopathic effects of *Acacia*

- melanoxydon* R. Br. phylloides during their decomposition [J]. *Forest Ecology and Management*, 1995, 77 (4): 53-63.
- [3] 韩丽梅, 王树起, 阎飞, 等. 不同腐解阶段大豆根桩的化感作用[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(10): 1295-1299.
- [4] 林思祖, 黄世国, 曹光球, 等. 杉木自毒作用的研究[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(6): 661-664.
- [5] 曹光球, 林思祖, 刘雁, 等. 几个树种化感物质的初步分离与生物鉴定[J]. *中国生态农业学报*, 2002, 10(2): 22-25.
- [6] 陈龙池, 汪思龙. 杉木根系分泌物化感作用研究[J]. *生态学报*, 2003, 23(2): 393-398.
- [7] 杜玲, 曹光球, 林思祖, 等. 杉木根际土壤提取物对杉木种子的化感效应[J]. *西北植物学报*, 2003, 23(2): 323-327.
- [8] 黄志群, 廖利平, 汪思龙. 杉木根桩和周围土壤酚含量的变化及其化感效应[J]. *应用生态学报*, 2000, 11(2): 190-192.
- [9] 林思祖, 曹光球, 黄世国, 等. 杉木经几种植物水浸液处理后叶绿素、质膜透性及气孔的变化研究[J]. *中国生态农业学报*, 2003, 11(3): 29-31.
- [10] 刘雁, 林思祖, 曹光球, 等. 杉木及其伴生树种化感物质的分离与生物测定[J]. *福建林学院学报*, 2001, 21(3): 268-271.
- [11] 马越强, 廖利平, 跃军, 等. 香草醛对杉木幼苗生长的影响[J]. *应用生态学报*, 1998, 9(2): 128-132.
- [12] 尤华明, 林思祖, 黄志群, 等. 几个常见植物种水浸液对杉木叶绿体的影响[J]. *福建林学院学报*, 1998, 18(4): 310-314.
- [13] 曹光球, 林思祖, 杜玲. 肉桂酸和阿魏酸对杉木化感作用的生物评价[J]. *中国生态农业学报*, 2003, 11(2): 8-10.
- [14] 曹光球, 林思祖, 吴淑芳, 等. 杉木水浸液处理杉木6年后杉木生物量及其分配[J]. *西北植物学报*, 2002, 22(4): 894-899.
- [15] 曹光球, 林思祖, 黄世国. 阿魏酸、肉桂酸对杉木种子发芽的效应[J]. *植物资源与环境学报*, 2001, 10(2): 63-64.
- [16] Huang Z Q, Liao L P, Wang S L, et al. Allelopathy of phenolics from decomposing stump-roots in replant Chinese fir woodland [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2000, 26(4): 2211-2219.
- [17] Lin S Z, Cao G Q, Du L, et al. Effect of allelochemicals of Chinese fir root extracted by supercritical CO₂ extraction on Chinese fir [J]. *Journal of Forestry Research*, 2003, 14(2): 122-126.
- [18] 曹光球, 林思祖, 胡宗庆, 等. 腐解3个月后杉木枯枝落叶及腐殖土中的化感成分对杉木种子的化感效应[J]. *植物资源与环境学报*, 2007, 16(4): 56-60.
- [19] Rice E L. *Allelopathy* [M]. New York: Academic Press, 1984: 1-50.
- [20] Tang C S, Young C C. Collection and identification of allelopathic compounds from the undisturbed root system of *Bigalita limpograss* (*Hemarthria alissima*) [J]. *Plant Physiology*, 1982, 69: 155-160.
- [21] Thomas S, Wang C H. Soil phenolic acids as plant inhibitors [J]. *Soil Science*, 1967, 103(4): 239-246.
- [22] Lawongsa P, Thompson G K. Identification of organic acids by HPLC in soil [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1987, 33(2): 299-302.

《植物资源与环境学报》2007年审稿专家名单

《植物资源与环境学报》2007年审稿专家名单如下(按姓氏的汉语拼音排序):

陈崇顺 陈国祥 陈建群 陈树元 崔大方 戴传超 邓懋彬 邓小江 丁小余 方升佐 方炎明 冯煦 高山林
高绪评 郭巧生 杭悦宇 郝日明 何开跃 贺善安 洪伟 胡美英 胡永红 李建宏 李思锋 李维林 李先琨
李亚 廖文波 刘建秀 刘启新 龙春林 陆长梅 潘泽慧 强胜 乔玉山 秦慧贞 秦民坚 任冰如 沈晋良
施国新 唐世蓉 王才林 王继和 王年鹤 王强 王献溥 吴承祯 吴国荣 夏冰 徐增莱 严涛 殷云龙
於虹 张光富 张涵庆 张明理 张小平 张益民 周永红

本刊对各位审稿专家的支持表示诚挚的感谢。