

doi:10.11937/bfyy.20170419

水分亏缺对旱区压砂瓜光合特性及产量的影响

黄山松¹, 沈 晖^{1,2,3}, 田军仓^{1,2,3}, 张 晓¹

(1. 宁夏大学 土木与水利工程学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏节水灌溉与水资源调控工程技术研究中心, 宁夏 银川 750021; 3. 旱区现代农业水资源高效利用教育部工程研究中心, 宁夏 银川 750021)

摘 要:为研究水分亏缺对旱区压砂瓜光合特性及产量的影响,以“金城5号”西瓜嫁接苗为试材,设3个灌水水平,分别为667 m² 灌溉0(T1)、1.5(T2)、3.0(T3) m³。结果表明:压砂瓜坐果期净光合速率和气孔导度日变化规律均表现为双峰曲线,蒸腾速率日变化规律表现为单峰曲线,与灌水定额呈正相关;胞间CO₂浓度变化规律与净光合速率相反,与灌水定额呈负相关。综合分析得出,在当地水资源缺乏情况下,旱区压砂瓜人工穴灌较适宜的灌水定额为667 m² 灌溉3.0 m³。

关键词:水分亏缺;压砂瓜;光合特性;产量

中图分类号:S 651 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)15-0001-06

压砂地也称“砂田”,多见于我国西北干旱、半干旱地区,是当地百姓在长时间与干旱战斗中摸索出的一种独有抗旱植模式。为了在艰苦的自然环境条件下生活,旱区人民针对天气条件和地域条件格外适合压砂瓜栽培的特点,创造了一种采用砂石覆盖的方式,具有蓄水保墒能力的砂田旱作栽培形式^[1]。如何提升作物水分利用效率、发展农业节水灌溉成为当前的研究热点。李智等^[2]研究表明,灌水量在一定范围内,不同灌溉定额下覆膜滴灌枸杞产量可增产,但超过一定的灌溉定额,则无显著提高。郑国保等^[3]研究指出,随着灌溉定额的增长,设施茄子叶片气孔导度、蒸腾速率、胞间CO₂浓度均呈先降低后变大的趋势。

对于灌水定额对作物产量、光合特性及水分利用效率的影响,在枸杞^[4]、谷子^[5]、菜心^[6]、马铃薯^[7]等作物上已有很多研究。

西瓜整个生长发育周期都离不开水分的供给^[8]。然而农民仅仅凭自身经验灌水,灌水量多时易出现裂瓜现象,灌水少时又影响压砂瓜的生长和产量^[9]。目前,国内对小麦、玉米、番茄、枸杞等作物的灌溉参数均有一定研究,但压砂瓜的灌溉参数却少见研究报道。为此,该试验对压砂瓜设置不同的灌溉定额,研究水分亏缺对旱区压砂瓜生理特性及产量的影响,以期对旱区压砂瓜的高效节水灌溉及配套技术提供机理和技术的参考支持。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于宁夏中卫市香山乡红圈子村,北纬37°02',东经105°08',地处宁夏中部干旱带核心,海拔1 500~2 300 m,属大陆性季风气候,干旱少雨,气候干燥,年平均降水量180 mm,年蒸发量2 100~2 400 mm,是降雨量的10倍多。全年平均日照长达2 600~2 700 h,日照充足,水资源紧缺。试验田土壤理化性质见表1。

第一作者简介:黄山松(1994-),男,硕士研究生,研究方向为节水灌溉理论与技术。E-mail:1569700783@qq.com。

责任作者:沈晖(1971-),女,博士,教授,硕士生导师,现主要从事节水灌溉理论与技术等研究工作。E-mail:nxushh@126.com。

基金项目:教育部“长江学者和创新团队发展计划”创新团队资助项目(IRT1067);国家科技支撑计划资助项目(2007BAD54B01);宁夏自然科学基金资助项目(NZ12149)。

收稿日期:2017-04-06

表 1

试验田土壤理化性质

Table 1

Soil physicochemical properties of experimental field

pH	全盐 Total salinity/(g · kg ⁻¹)	速效钾 Available K/(g · kg ⁻¹)	碱解氮 Available N/(g · kg ⁻¹)	速效磷 Available P/(g · kg ⁻¹)	有机质 Organic matter/(g · kg ⁻¹)
9.27	0.24	140.00	40.25	0.97	13.46

1.2 试验材料

供试西瓜“金城5号”嫁接苗,为兰州市种子协会所申报的品种。

1.3 试验方法

采用单因素对比试验设计,设置3个不同灌水平,即667 m²不灌水处理(0 m³)、少水处理(1.5 m³)和多水处理(3.0 m³),以不灌水处理作为对照。每处理设3次重复。为保证能够正常生长和所有处理生长的一致性,在播种前667 m²均灌水0.68 m³。各处理于2016年4月20日统一

播种,播前用铁锹拨开砂石层,松散土壤,每穴播1粒已经催芽的种子,继而覆盖2 cm厚的润湿土壤和1 cm厚的细沙,播种后立即覆盖地膜。压砂地压砂年限为4年。灌水方式为人工穴灌法,分别在苗期、伸蔓期、结果期和果实膨大期分4次补灌。其余管理同大田。栽种前统一施底肥,准则为667 m²施肥86.4 kg。肥料为生物菌有机肥、二胺及农家肥(羊粪)按1:2:40比例混合。西瓜株行距1.5 m×1.8 m,各小区种植方式、播种时间、灌水次数、施肥量均相同(表2)。

表 2

试验方案

Table 2

Testing program

处理 Treatment	667 m ² 灌水定额 667 m ² irrigation water quota/m ³	灌水次数 Frequency of irrigation	667 m ² 总灌水量 667 m ² irrigation amount/m ³
T1(CK)	0.0	0	0
T2	1.5	4	6
T3	3.0	4	12

1.4 项目测定

光合作用采用LI-6400便携式光系统测定仪,在压砂瓜果实膨大期选择晴朗无云的天气,从08:00开始,分别在08:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00测定不同处理的叶片光合特性。每次测定选择长势类似的3个叶片,取平均值。

产量于压砂西瓜成熟期对西瓜进行采收,用电子秤分别测定西瓜单瓜质量和小区产量并折算成每667 m²西瓜产量。

叶片水分生产效率用Pn/Tr表示;灌溉水分利用效率用实际产量与灌溉定额之比表示。

1.5 数据分析

采用DPS对测定的数据进行统计分析,差异显著性分析。用Excel 2016处理数据和作图。

2 结果与分析

2.1 水分亏缺对压砂瓜光合特性的影响

2.1.1 净光合速率(Pn)日变化规律

光合作用以水为原料,水分过少会降低光合

速率,过多则导致通气不良阻碍根系活动,从而对光合作用造成影响。由表3可知,不同灌水定额对压砂瓜叶片光合特性有显著的影响。不同处理下压砂瓜叶片Pn日变化都呈双峰曲线(图1),峰型基本相同,波谷、波峰值出现在相同时刻,而且均出现较为典型的“午休”现象。“午休”现象是因为高强度的光照引起植株体温起过高或过度失

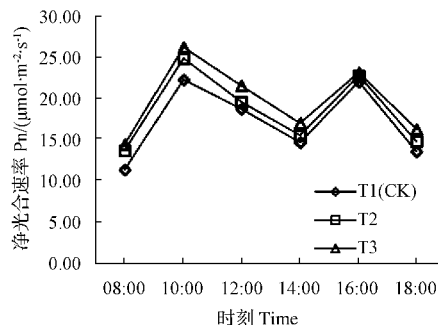


图 1 压砂瓜叶片净光合速率日变化

Fig. 1 Diurnal variations of photosynthetic rate in leaves of watermelon in gravel-mulched field

水,使气孔导度降低甚至关闭,胞间 CO_2 浓度降低,导致光合速率下降^[10]。上午峰值呈现在 10:00 左右,下午峰值大约呈现在 16:00,谷值呈现在 14:00。不同灌水定额对压砂瓜的日均净光合速率有显著影响,各处理的净光合速率值较对照均增加,T3 和 T2 比 T1(CK)分别增大 15.7%

和 8.6%,而 T3 比 T2 增大 6.5%(表 3)。压砂瓜 Pn 随着叶片 Gs 的降低而降低,故叶片 Gs 可能是影响 Pn 变化的主要因素之一^[11],也有研究表明,对 Pn 影响最大的环境因子是光合有效辐射^[12]。综合分析,在试验范围内,压砂瓜净光合速率随灌水量增多而增大。

表 3 不同灌溉定额处理下各光合指标日均值

Table 3 Daily mean figures of every photosynthetic indexes in different irrigation amount

处理 Treatment	净光合速率 Pn $/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	气孔导度 Gs $/(\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	蒸腾速率 Tr $/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	胞间 CO_2 浓度 Ci $/(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$
T1(CK)	17.03±2.16c	0.17±0.09b	7.36±1.52c	178.23±20.93a
T2	18.50±2.92b	0.19±0.06b	8.36±1.78b	164.96±25.31b
T3	19.71±1.40a	0.22±0.25a	9.36±3.56a	138.98±15.18c

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters show significant difference ($P<0.05$).

2.1.2 蒸腾速率(Tr)日变化规律

蒸腾速率是表示在单位时间内、单位面积上作物经过蒸腾作用消失的水量。不同灌水定额对压砂瓜蒸腾速率有显著影响,各处理 Tr 值较对照增大且处理间达差异极显著水平。不同处理下压砂瓜叶片 Tr 日变化大致相同,为单峰曲线(图 2),全日 Tr 峰值出现在 14:00 左右。从 08:00—14:00 气温不断上升,压砂瓜叶片需要通过主动增加叶片的气孔导度和蒸腾速率来减少高温对其伤害^[13]。T3 处理的日均 Tr 显著大于 T2 与 T1(CK)处理,分别增大 12.0%和 27.2%,而 T2 比 T1(CK)增大 13.6%(表 3)。在试验条件下,压砂瓜的蒸腾速率日变化随灌水量的增加而升高,原因在于灌水量增加引起土壤水分增加,而蒸腾速率会随土壤水分的增多而升高^[14]。

2.1.3 气孔导度(Gs)日变化规律

反映气孔活动的重要生理指标是气孔导度。从图 3 可以看出,不同处理 Gs 均呈前高后低的变化趋势,与光合速率值的变化规律基本一致。全部处理的 Gs 上午峰值都在 10:00 左右,下午峰值在 16:00 左右,原因是全天内的光合有效辐射的增强、大气中的相对湿度降低和强烈的蒸腾失水,引起植株体内水分过少,所以需要通过降低气孔导度来保证植株正常生长^[15]。不同灌水定额对压砂瓜叶片气孔导度影响显著,不同灌水定额下气孔导度值较对照相比均增加。由表 3 可知,T3 处理的 Gs 日均值比 T2 显著增大 15.8%,

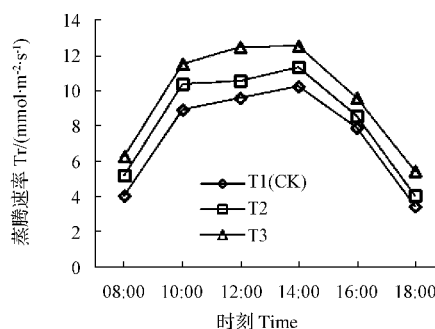


图 2 压砂瓜叶片蒸腾速率日变化

Fig. 2 Diurnal variations of transpiration rate in leaves of watermelon in gravel-mulched field

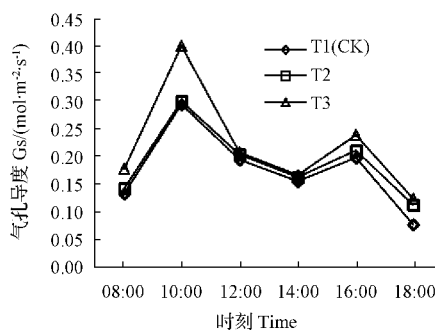


图 3 压砂瓜叶片气孔导度日变化

Fig. 3 Diurnal variations of stomatal conductance in leaves of watermelon in gravel-mulched field

比 T1(CK) 显著增大 29.4%，但 T2 与 T1(CK) 差异不显著。这是因为植物受到水分胁迫时会通过关闭气孔来减少体内水分蒸发^[16]。由此，在试验条件下，灌水定额增大有利于压砂瓜叶片气孔开放，提高压砂瓜叶片对田间 CO₂ 的利用效率，增强光合作用，促进作物蒸腾。

2.1.4 胞间 CO₂ 浓度(Ci)日变化规律

不同灌水定额对压砂瓜叶片胞间 CO₂ 浓度有显著影响，相比对照，各处理 Ci 值比对照减少并处理间达差异显著水平。从图 4 可以看出，不同处理 Ci 均呈现前低后高的凹型变化趋势，且相反于 Pn 变化趋势，上午随光强的增加逐渐降小，中午达到最低值，下午随着光强的减弱又逐渐增大。清晨随光合作用增大 CO₂ 同化速率变快，Ci 逐步变小，大约 10:00 达到最低值，随后因为光合作用降低而逐步上升。从表 3 可以看出，T3 处理的日均 Ci 显著低于 T2 和 T1(CK)，分别减少 15.7% 和 22.0%，而 T2 比 T1(CK) 增加 7.4%。这与压砂瓜叶片的光合速率和气孔导度的变化规律相反，说明胞间 CO₂ 浓度的降低是细胞光合速率增大的结果。各处理胞间 CO₂ 浓度呈现随灌水量增加而降低的趋势，说明增加灌水量对压砂瓜叶片胞间 CO₂ 的利用有较大的促进作用。

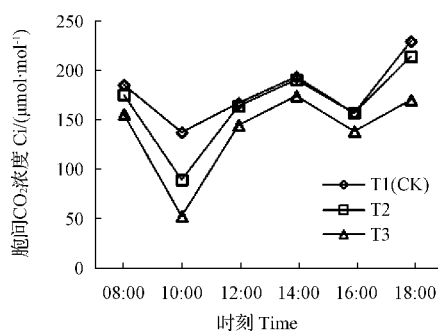


图4 压砂瓜叶片胞间 CO₂ 浓度日变化

Fig. 4 Diurnal variations of intercellular CO₂ concentration in leaves of watermelon in gravel-mulched field

2.2 水分亏缺对压砂瓜叶片水分利用效率(WUE)的影响

作物的 WUE 揭示 CO₂ 同化作用与水分消耗的关系，是瞬时叶片 Pn 与 Tr 的比值。WUE 的大小可以作为判断旱区植物能否维持正常生长

的依据之一^[17]。不同灌溉定额对压砂瓜水分的利用率不同，随着灌溉定额的增加水分利用效率逐渐减小。从图 5 可以看出，压砂瓜各处理 WUE 大约在 14:00 到达最小点，上午随光照强度的变大呈下降走向，下午则随光照强度的降低呈变大走向。T1(CK)、T2 和 T3 处理的 WUE 日均值分别是 2.55、2.42、2.17 μmol·mol⁻¹。T3 处理的 WUE 日均值比 T2 处理减小 10.3%，比 T1(CK) 减小 14.9%，而 T2 比 T1(CK) 减小 5.1%。适度受旱时，压砂瓜叶片的气孔导度降低，光合速率和蒸腾速率均减慢，但由于蒸腾速率减弱程度大于光合速率减弱程度，从而间接提高了叶片水分利用效率。这与已有研究结果吻合^[18]。T1(CK) 水分利用效率最高，但其产出最小，产量也最小；按照效益最大准则与土壤水分的可持续利用准则，T3(667 m² 灌溉 3.0 m³) 的灌水定额为压砂瓜最佳的灌水定额。

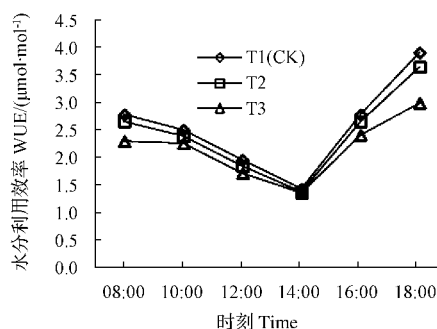


图5 压砂瓜叶片水分利用效率(WUE)日变化

Fig. 5 Diurnal variations of water use efficiency in leaves of watermelon in gravel-mulched field

2.3 水分亏缺对压砂瓜灌溉水利用效率及产量的影响

由表 4 可以看出，在试验条件下，随着总灌水量的增加产量随之增大。T2 处理和 T3 处理较 T1(CK) 分别增产 8.3% 和 32.1%，而 T3 处理较 T2 处理增产 22.0%；T3 的灌溉水分利用效率较 T2 减少 39.0%。对产量进行方差分析可知(表 5)，不同灌水处理对压砂瓜产量变化影响显著 ($P < 0.05$)。

试验地属于干旱地区，水资源匮乏，节水灌溉势在必行，故综合考虑，667 m² 灌溉 3.0 m³ 是适宜的灌水定额。

表 4
Irrigation water use efficiency

处理 Treatment	667 m ² 总灌水量 667 m ² irrigation amount/m ³	667 m ² 产量 667 m ² yield/kg	灌溉水分利用效率 Irrigation water use efficiency /(kg · m ⁻³)
T1(CK)	0.00	1 954	—
T2	6.00	2 117	352.8
T3	12.00	2 582	215.2

表 5
Variance analysis of yield

变异来源 Variation sources	平方和 Sum of squares	自由度 Degrees of freedom	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value
回归 Regression	212 370.512 8	1	212 370.512 8	9 586.169	0.006 5
残差 Residual	22.153 8	1	22.153 8		
总变异 Total variation	212 392.666 7	2			

3 结论

灌水定额不同对旱区压砂瓜光合特性指标影响较大。适当增加灌水量能够促进压砂瓜生长,增加压砂瓜叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度,减小胞间 CO₂ 浓度。Pn 与 Gs 日变化都出现双峰趋势,Tr 日变化出现单峰趋势,Ci 变化曲线与 Pn 变化曲线相反,T3 处理水分利用效率(WUE)最低,日均值达到 2.55 μmol · mol⁻¹,比 T2 处理减小 10.3%,比 T1(CK)减小 14.9%。在试验条件下,压砂瓜产量随灌水量的增加而增加。T2 处理和 T3 处理较 T1(CK)分别增产 8.3%和 32.1%,并通过不同灌水量对压砂瓜产量的方差分析发现,T3 处理的灌水定额对压砂瓜产量存在显著性。故在 2015 年现有降雨量和给定的灌水条件下,T3 处理(667 m² 灌溉 3.0 m³)为试验区及相似地区压砂瓜节水高效生产的适宜灌水定额。

参考文献

[1] 马忠明,杜少平,薛亮.砂田西瓜甜瓜生产现状、存在的问题及其对策[J].中国瓜菜,2010(3):60-63.
[2] 李智,尹娟,郑艳军.不同灌溉定额对枸杞光合特性及产量的影响[J].节水灌溉,2016(9):71-73,78.
[3] 郑国保,孔德杰,张源沛,等.不同灌溉定额对设施茄子光合特性和产量的影响[J].节水灌溉,2010(12):28-30,34.
[4] 朱金霞,张源沛,郑国保,等.不同灌水量对枸杞光合特性和产量的影响[J].节水灌溉,2012(1):28-30,33.

[5] 潘永霞,田军仓,沈晖,等.膜下滴灌水量对谷子光合作用及水分利用效率影响[J].节水灌溉,2016(5):28-32.
[6] 胡优,田军仓.灌溉定额对喷灌菜心生长及光合特性的影响[J].灌溉排水学报,2016(11):57-61.
[7] 马旭,尹娟.不同灌水处理对马铃薯光合性能和产量的影响[J].节水灌溉,2013(8):22-24,27.
[8] 李业伟,卢晓明,崔爱辉.西瓜水分管理技术[J].吉林农业,2007(8):20.
[9] 王志伟,郁继华,郭晓冬.日光温室甜瓜节水灌溉土壤水分上限指标研究[C]//中国农业工程学会设施园艺工程专业委员会,中国设施园艺学会.2004 年中国设施园艺学会学术年会文集.中国农业工程学会设施园艺工程专业委员会,中国设施园艺学会,2004:5.
[10] 田志莲,田军仓.不同土壤水分下限对膜下滴灌水稻光合作用及生理指标影响[J].灌溉排水学报,2013(4):107-109.
[11] 苏福才,钱国珍.欧李不同类型枝条生长结果的差异及丰产形态指标[J].内蒙古农牧学院学报,1991(1):45-49.
[12] 许大全.光合作用气孔限制分析中的一些问题[J].植物生理学通讯,1997,33(4):241-244.
[13] 周磊,田军仓,沈晖,等.抽雄期水分胁迫对膜下滴灌玉米的影响研究[J].灌溉排水学报,2014(2):86-89.
[14] 赵玉国,王新忠.高温胁迫对拔节期水稻光合作用和蒸腾速率的影响[J].贵州农业科学,2012,40(1):41-43.
[15] 刘端,白志强,韩燕梁,等.2 种欧李幼苗光合特性及叶绿素含量的比较[J].江苏农业科学,2012(2):115-117.
[16] 刘帆,申双和,李永秀,等.不同生育期水分胁迫对玉米光合特性的影响[J].气象科学,2013(4):378-383.
[17] 周小玲,田大伦,张旭东,等.桉木不同品系蒸腾特性与水分利用效率的研究[J].中南林业科技大学学报(自然科学版),2008,28(1):1-7.
[18] 张光灿,贺康宁,刘霞.黄土高原半干旱区林木生长适宜土壤水分环境的研究[J].水土保持学报,2001(4):1-5.

Effects of Water Deficit on Photosynthesis Characteristics and Yield of Watermelon in Gravel-mulched Field in Arid Regions

HUANG Shansong¹, SHEN Hui^{1,2,3}, TIAN Juncang^{1,2,3}, ZHANG Xiao¹

(1. School of Civil Engineering and Water Conservancy, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 2. Ningxia Water-saving Irrigation and Water Resources Regulation Engineering Technology Research Center, Yinchuan, Ningxia 750021; 3. Arid Areas of Modern Agricultural Water Resources Efficient Use of Engineering Research Center of Ministry of Education, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: In order to study the effects of water deficit on photosynthesis characteristics and yield of watermelon in gravel-mulched field in arid regions, 'Jincheng 5' were used as the test material, three sprinkler irrigation quotas per 667 m² were set as: 0 m³ (T1), 1.5 m³ (T2), 3 m³ (T3). The results showed that, under the experimental conditions, both of the diurnal change of the photosynthetic rate (Pn) and leaf stomatal conductance (Gs) in fruit-expanding-period showed a double peak curve, and the transpiration rate (Tr) showed a single peak curve. In the meantime, all of them increased with the increase of irrigation quota. To the contrary, the values of intercellular CO₂ concentration (Ci) showed the opposite change law. By the comprehensive analysis, under the condition of water resources shortage, it was proposed that the suitable sprinkler irrigation quota per 667 m² was 3 m³.

Keywords: water deficit; watermelon in gravel-mulched field; photosynthesis characteristics; yield

欢迎订阅 2018 年《北方园艺》

主 管: 黑龙江省农业科学院
刊 号: CN 23-1247/S

主 办: 黑龙江省农业科学院、黑龙江省园艺学会
邮发代号: 14-150

半月刊 每月 15、30 日出版 单价: 15.00 元 全年: 360.00 元

投稿网址: www.haasep.cn

全国各地邮局均可订阅, 或直接向编辑部汇款订阅。

自 2017 年 13 期起,《北方园艺》栏目改版,设有研究论文、研究简报、设施园艺、园林花卉、资源环境生态、贮藏加工检测、中草药、食用菌、专题综述、产业论坛、不定期刊登栏目(农业经纬、农业经济、农业信息技术)、实用技术、新品种(彩版);刊载文章力求体现科研—生产—技术服务的全产业链,汇聚园艺行业最新科研成果,跟踪园艺学科最新研究热点,期待广大作者、读者、编委一如既往的支持我们。

中文核心期刊(1992—2014)

中国农业核心期刊

美国化学文摘社(CAS)收录期刊

2015、2016 年期刊数字影响力 100 强

地址: 黑龙江省哈尔滨市南岗区学府路 368 号《北方园艺》编辑部
邮编: 150086 电话: 0451-86674276 信箱: bfybjb@163.com

