

陕北风沙滩地区生态安全地下水位埋深研究^{*}

杨泽元¹, 王文科¹, 黄金廷^{1,2}, 段磊¹

(1 长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054;

2 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054)

[摘 要] 在野外调查和综合分析的基础上, 从可持续发展角度提出了生态安全地下水位埋深的概念; 并深入探讨了地下水位埋深与植被生长、河湖基流量及土地荒漠化的关系, 确定了风沙滩地区生态安全地下水位埋深为1.5~5 m; 采用面向生态的区域地下水资源评价理论, 以生态安全地下水位埋深为约束, 计算出该区地下水可采资源量约为107万m³/d。

[关键词] 陕北风沙滩地区; 生态安全地下水位埋深; 植被; 河流基流量; 湖淖基流量; 土地荒漠化

[中图分类号] TV 213.4

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)08-0067-08

在干旱半干旱地区, 地下水位与生态环境的关系十分密切^[1-13]。陕北风沙滩地区地处半干旱区, 是陕北国家级能源重化工基地的重要组成部分, 但该区生态环境脆弱, 生态环境对地下水的依赖作用十分显著, 同时该区又是正待开发的地区, 如何实现“在保护中开发水资源”和“在开发中保护水资源”的可持续开发模式, 是一个急需探讨的现实问题。为此, 本研究对陕北风沙滩地区的生态安全地下水位埋深进行了较为深入的探讨, 以期对风沙滩地区水资源合理开发利用与生态环境保护提供依据。

1 研究区概况

陕北风沙滩地区指位于东经107°15′~110°45′和北纬37°00′~39°30′的长城沿线北部地区, 在行政区划上包括陕西省的府谷、神木、榆林、横山、靖边和定边6市县, 总面积1.79×10⁴ km²。该地区地处毛乌素沙漠与黄土高原过渡地带, 从西北向东南可划分为湖群高平原区、毛乌素沙漠区和盖沙丘陵区。区内主要河流有窟野河、秃尾河、无定河和榆溪河, 为地下水的排泄基准面; 且湖泊、海子众多, 其中面积最大的湖泊为红碱淖湖(54 km²)。区内多年平均降雨量300~400 mm, 多年平均蒸发量1 883.5~2 203.1 mm。

该区地下水位与表生生态关系十分密切, 主要

体现在3个方面: 地下水位埋深与植被生长间的关系, 地下水位埋深与河湖基流量间的关系, 地下水位埋深与土地荒漠化间的关系。

2 生态安全地下水位埋深概念

“在保护中开发水资源”, 要求在开发一个地区前首先划定水资源的保护区带; “在开发中保护水资源”, 则要求在开发水资源时必须考虑水资源的承载阈限, 对地下水来说, 主要表现为地下水位埋深的承载阈限。为实现水资源的可持续开发和生态环境保护, 从可持续发展角度考虑, 笔者认为所谓生态安全地下水位埋深是指在干旱半干旱地区, 维系植被的正常生长, 维系河流、湖泊、沼泽(或湿地)正常的生态功能, 且不发生土地荒漠化、水质恶化、地面沉降等生态环境问题的地下水位埋深。

生态安全地下水位埋深可以是一个具体的值, 例如沼泽或湿地的生态安全地下水位埋深为0, 大于0则沼泽和湿地便不能存在; 也可以是一个区间, 在这个区间内, 生态环境系统具有最高的稳定性和良性循环发展的自适应能力, 偏离平衡位置后在一定时间内能够自动恢复, 生态环境处于安全状态, 超过这个区间, 生态环境的稳定性遭到破坏, 其安全受到威胁。如塔里木河流域生态安全地下水位埋深为2~4 m^[11]。

^{*} [收稿日期] 2006-04-06

[基金项目] 国家自然科学基金项目(40472131); 国家重点基础发展规划项目(G1999043606); 陕西省自然科学基金项目(2002D13); 长安大学基金项目(05Q14)

[作者简介] 杨泽元(1969-), 男, 重庆合川人, 讲师, 主要从事水环境、生态环境及“3S”技术在水环境与生态环境领域的应用研究。

E-mail: yang. zeyuan@126.com

地质矿产部神府东胜环境地质综合组 神府-东胜地区环境地质与水资源综合评价报告 1998

3 陕北风沙滩地区生态安全地下水位埋深

3.1 地下水位埋深与植被生长的关系

以陕北风沙滩地区的秃尾河流域为例,于2003-05调查了在不同地下水位埋深区间,流域内沙柳(*Salix mongolica*)、沙蒿(*Artemisia sphaerocephala* Krasch)的冠幅、冠高、新枝长度和植被总盖度,以及沙柳、沙蒿盖度占植被总盖度的比例,同时调查了小叶杨(*Populus simonii* Carr.)和旱柳(*Salix matsudana* Koidz.)的树高、胸径、树高年均生长量、胸

径年均生长量等指标,分别研究了以上代表性植被不同生长指标与地下水位埋深之间的关系,结果见图1~4。

3.1.1 地下水位埋深对沙柳生长状况的影响 由图1可知,随着地下水位埋深的增加,沙柳的各项生长指标均逐渐降低,由此可知其长势由好变差。沙柳的平均冠幅、平均冠高、平均新枝长度、植被总盖度、沙柳盖度分别与地下水位埋深间呈显著负对数相关,沙柳盖度占植被总盖度的比例与地下水位埋深间呈显著的负线性相关($r_{(13,0.01)} = 0.641$)。

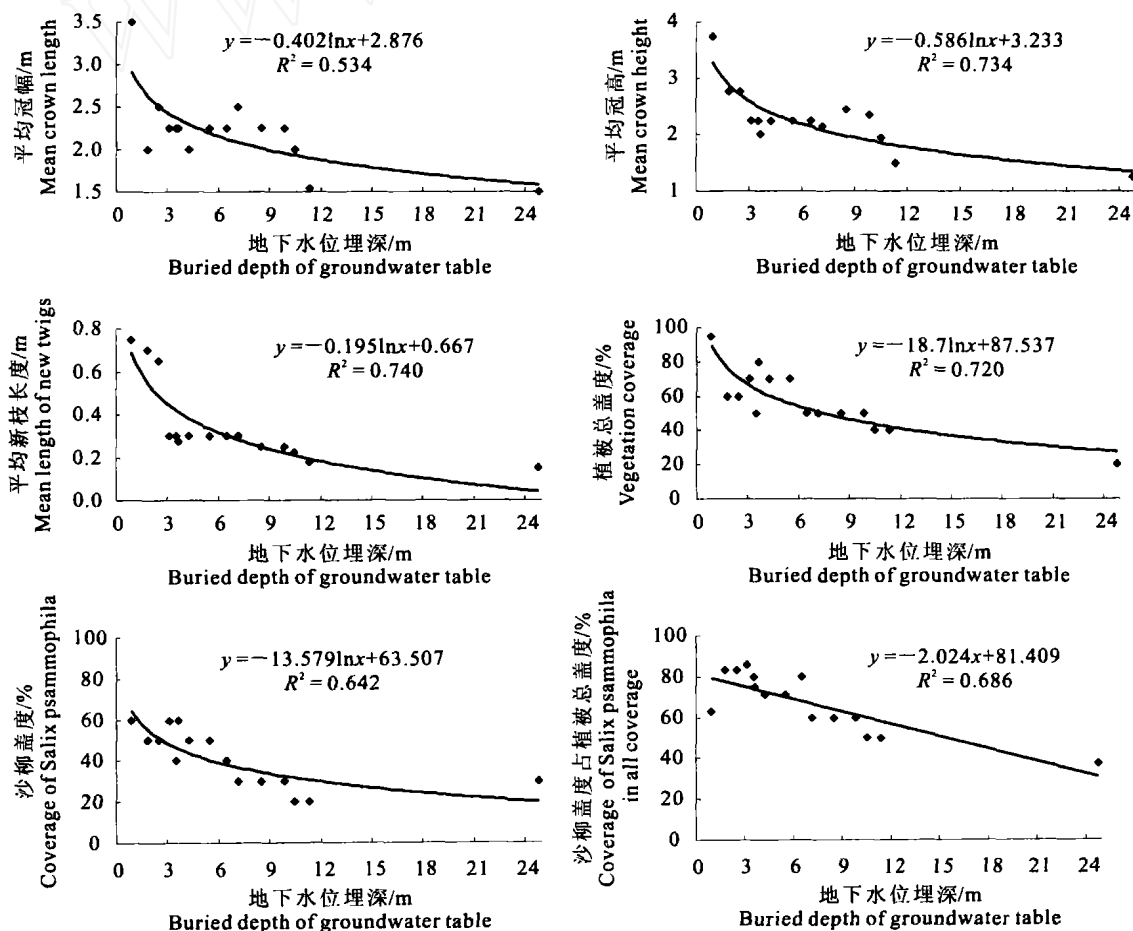


图1 2年生沙柳各生长指标与地下水位埋深的关系

Fig. 1 Relation between different growth indexes of *Salix psammophila* (two years old) and buried depth of groundwater table

3.1.2 地下水位埋深对沙蒿生长状况的影响 从图2可以看出,随着地下水位埋深的增加,沙蒿的平均冠幅和平均冠高逐渐下降,沙蒿盖度及其占植被总盖度的比例逐渐增加,而沙柳盖度逐渐减小(图1),反映出沙柳灌丛逐渐演变为沙蒿灌丛的趋势。沙

蒿的平均冠幅、平均冠高分别与地下水位埋深间呈显著负对数相关,沙蒿盖度及其占植被总盖度的比例分别与地下水位埋深间呈显著二次多项式相关($r_{(15,0.01)} = 0.606$)。

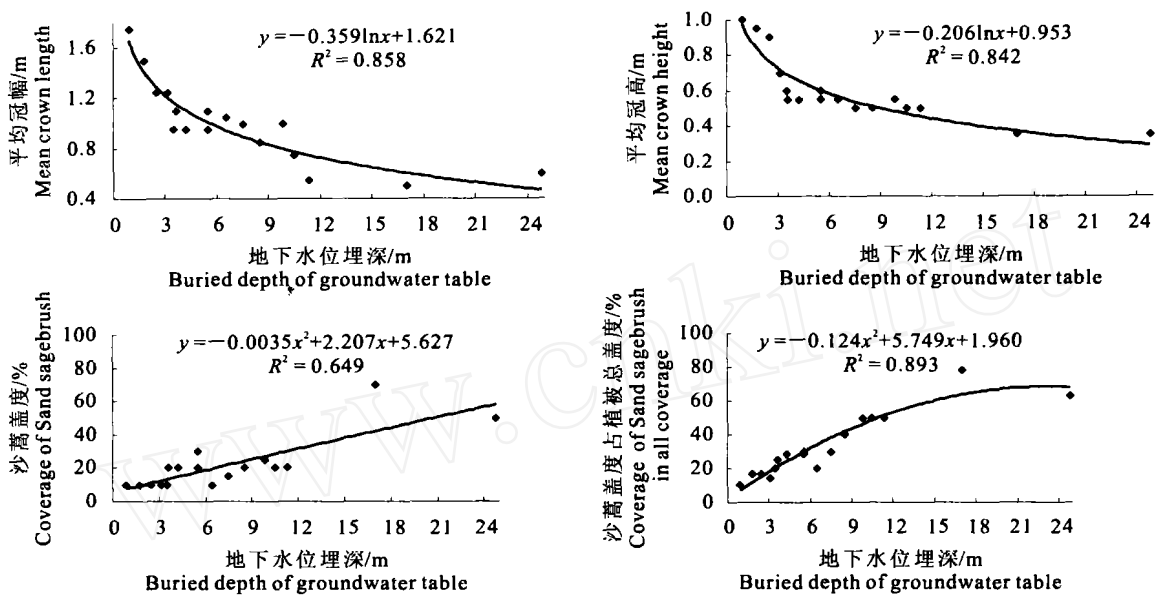


图2 5年生沙蒿各生长指标与地下水位埋深的关系

Fig 2 Relation between different growth indexes of Sand sagebrush (five years old) and buried depth of groundwater table

3.1.3 地下水位埋深对小叶杨生长状况的影响

由图3可知,小叶杨的平均树高与地下水位埋深间呈显著的负线性相关;其平均胸径、树高年均生长量、胸径年均生长量分别与地下水位埋深间呈显著的负对数相关($r_{(14,0.01)}=0.623$)。

3.1.4 地下水位埋深对旱柳生长状况的影响 图4

表明,旱柳的平均树高与地下水位埋深间呈显著的负线性相关,其线性趋势线的斜率明显小于小叶杨,说明旱柳比小叶杨更耐旱,随着地下水位埋深增加,小叶杨逐渐向旱柳演替;旱柳的平均胸径、树高年均生长量、胸径年均生长量分别与地下水位埋深间呈显著负对数相关($r_{(6,0.01)}=0.834$)。

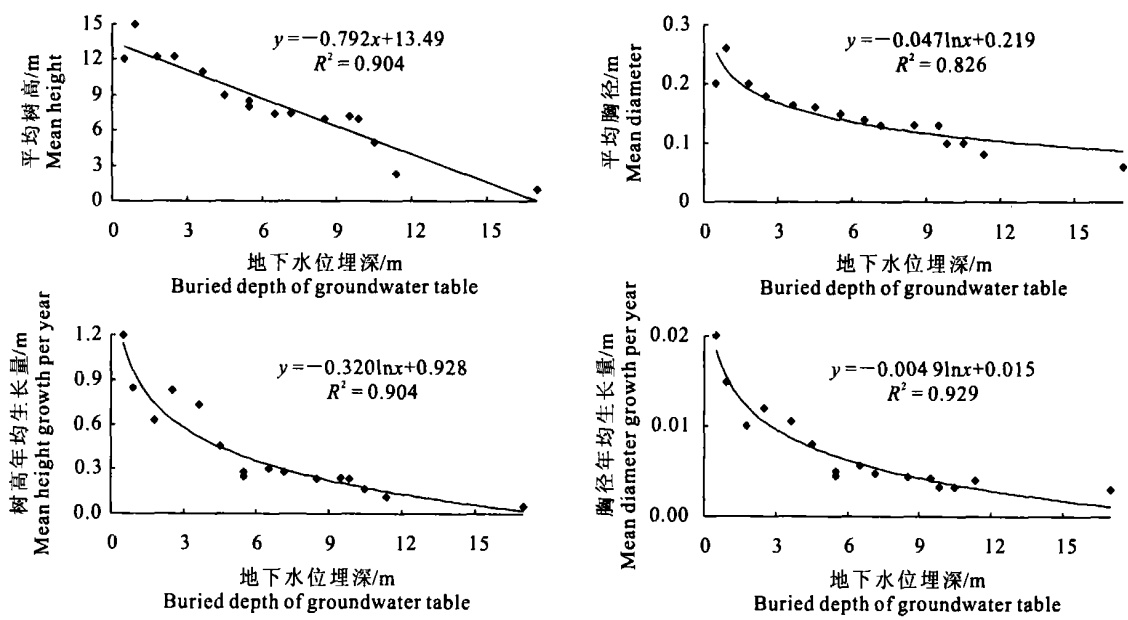


图3 多年生小叶杨各生长指标与地下水位埋深的关系

Fig 3 Relation between different growth indexes of perennial Simon poplar and buried depth of groundwater table

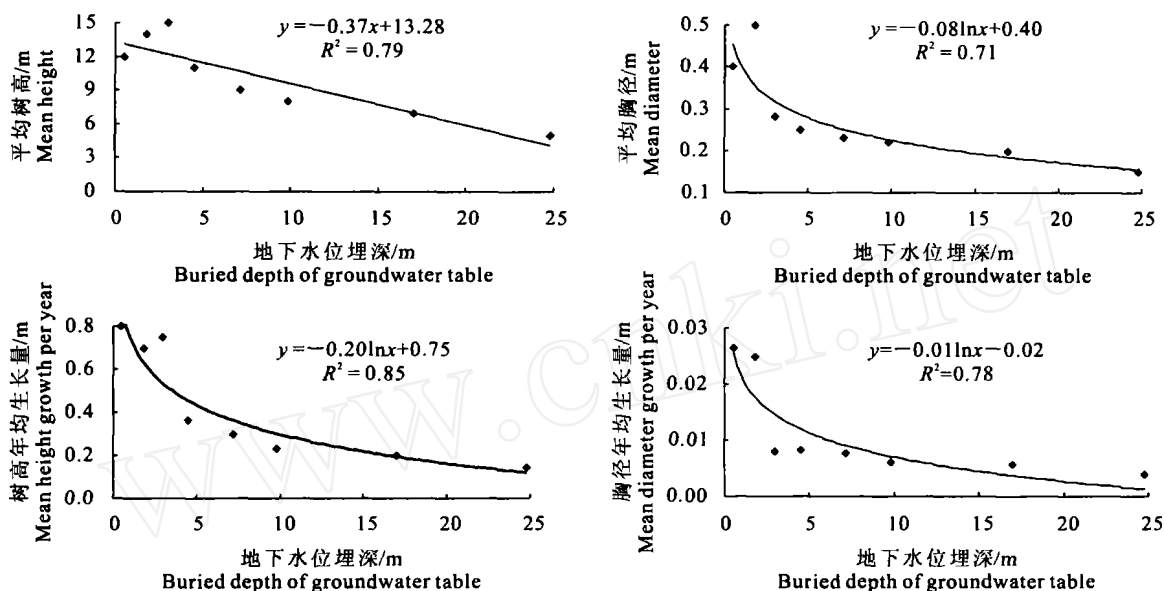


图4 多年生旱柳各生长指标与地下水位埋深的关系

Fig. 4 Relation between different growth indexes of perennial *Salix matsudana* and buried depth of groundwater table

3.1.5 地下水位埋深与4种植物长势的关系 综合上述分析,并结合野外调查结果可知,随着地下水位埋深增加,流域植被从沙柳灌丛向沙蒿灌丛演替,从小叶杨向旱柳演替,其演化结构如图5所示。流域内各典型植物长势与地下水位埋深的关系见表1。

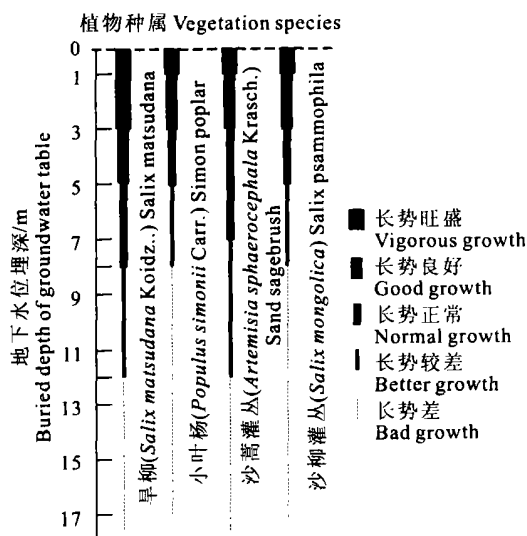


图5 陕北风沙滩地区秃尾河流域植被演替规律

Fig. 5 Succession law of vegetation in Tuwei river watershed of the blow n-sand region of Northern Shaanxi Province

从表1和图5可以看出,当地下水位埋深较小时,所有典型植被的长势都较好,而随着地下水位埋深增加,植被的长势变差或根本无法生存;沙柳灌丛与小叶杨是相对比较喜水的植物,适宜的地下水位埋深区间较窄,而沙蒿灌丛与旱柳耐旱能力强,适宜的地下水位埋深区间较宽。秃尾河流域是陕北风沙滩地区的重要组成部分之一,地跨湖群高平原区、沙漠区和盖沙丘陵区,因而秃尾河流域的典型植物可以代表风沙滩地区的典型植被,同理,其长势与地下水位埋深的关系也具有代表性。

3.2 地下水位埋深与河流、湖淖基流量以及土地荒漠化的关系

3.2.1 地下水位埋深与河流基流量间的关系 对秃尾河高家川水文站多年流量资料(1956~2000年)和流域地下水动态观测资料(1984~2000年)进行分析可知,秃尾河河流基流量变化量与流域地下水位埋深变化量之间呈显著线性关系(图6)。

$$\Delta Q = -1.046\Delta H + 0.259$$

$$(r = 0.847 > r_{(0.01)} = 0.561)$$

式中, ΔQ 为河流基流量的变化量 (m^3/s); ΔH 为以1995年为参照年的地下水位埋深变化量 (m)。

表 1 陕北风沙滩地区秃尾河流域 4 种主要植物长势与地下水位埋深的关系

Table 1 Relation between vigor of four kinds of vegetation in Tuwei river watershed, the blow n- sand region of the northern Shaanxi Province

植物名称 Plant species	地下水位埋深/m Buried depth of groundwater table	植物长势 Plant growth vigor
沙柳 <i>Salix mongolica</i>	< 1.5	生长旺盛 V igo rous grow th
	1.5~ 3	生长良好 Good grow th
	3~ 5	生长正常 Nom al grow th
	5~ 8	生长较差 Relatively poor grow th
	> 8	生长差 Poor grow th
沙蒿 <i>A rtemisia sphaerocephala</i> Krasch	< 1.5	生长旺盛 V igo rous grow th
	1.5~ 3	生长良好 Good grow th
	3~ 9	生长正常 Nom al grow th
	9~ 15	生长较差 Relatively poor grow th
	> 15	生长差 Poor grow th
小叶杨 <i>Populus simonii</i> Carr.	< 1.5	生长旺盛 V igo rous grow th
	1.5~ 3	生长良好 Good grow th
	3~ 5	生长正常, 无枯梢现象 Nom al grow th
	5~ 8	生长较差, 部分枯梢, 秃头, 或形成小老头树 Relatively poor grow th, parts of them become withered branches, baldhead
	> 8	生长差, 易形成独树, 绝大部分枯死, 郁闭度低 Poor grow th, some of them become separate trees, but a majority of them become seriously withered or dead, so coverage of them is low
旱柳 <i>Salix matsudana</i> Koidz	< 3	生长旺盛 V igo rous grow th
	3~ 7	生长良好 Good grow th
	7~ 12	生长正常, 无枯梢现象 Nom al grow th
	12~ 19	生长较差, 部分枯梢, 秃头, 或形成小老头树 Relatively poor grow th, parts of them become withered branches, baldhead
	> 19	生长差, 易形成独树, 绝大部分枯死, 郁闭度低 Poor grow th, some of them become separate trees, but a majority of them become seriously withered or dead, so coverage of them is low

由图6 可知, 以1995 年为参照年, 当地下水位埋深减小时, ΔH 为负, 地下水在河岸边处的水力坡度

增大, 地下水补给河水的量增大, 河流基流量增加; 反之, 当地下水位埋深增加时, ΔH 为正, 地下水补给河水的量减小, 河流基流量减小。

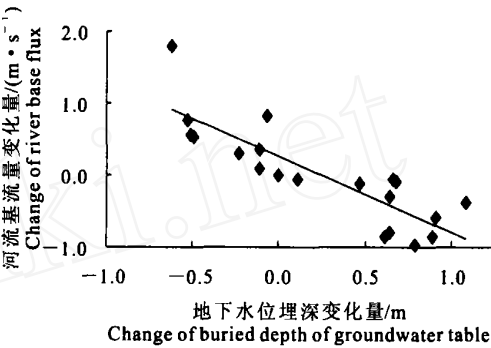


图 6 河基流量变化与地下水位埋深的关系(以 1995 年为参照年)

Fig. 6 Relation between change of river base flux and that of buried depth of groundwater table in the watershed (reference to 1995)

根据秃尾河流量资料 可知, 秃尾河的年均径流量占黄河中游河(口)- 龙(门)段黄河径流量的 11.78%, 次于无定河和窟野河, 但其年均基流量占该段总基流量的 17.45%, 仅次于无定河, 所以秃尾河对黄河基流量有较大贡献。在风沙滩地区开发地下水资源时, 必须将秃尾河地下水位埋深控制在适宜的范围内, 以维持河流基流量, 保证入黄流量。

3.2.2 地下水位埋深与湖淖基流量间的关系 以陕北风沙滩地区红碱淖为例, 研究地下水位埋深与湖淖基流量间的关系。红碱淖位于沙丘区的相对低处, 除汛期有一定的地表径流入湖外, 大多数情况下主要接受周边地下水排泄补给。因此, 地下水位的动态变化直接影响到红碱淖湖面的消长和湖水水位的升降。据陕西省水工程勘察规划研究院(2002 年)的资料, 从1992~ 2000 年, 红碱淖周围506, 508, 509 孔地下水位埋深都持续下降, 其中 506 孔下降达1.1 m, 湖面面积从55 km² 萎缩到48 km², 湖水位下降了1.4 m^[14]。

3.2.3 地下水位埋深与土地荒漠化的关系 陕北风沙滩地区内荒漠化主要表现为盐渍化。由于滩地地下水位埋深较浅, 盐渍化较为发育, 盐碱地面积占滩地总面积的10%。根据地下水位埋深, 土壤(0~ 20 cm)含盐量、地表盐霜厚度和植物生长情况, 可将本区盐碱地划分为轻盐碱地、中盐碱地和重盐碱地

王文科, 王雁林, 段 磊, 等. 陕北能源化工基地水资源合理开发利用分析(报告). 2005-11.

(表2)。由表2可知,区内滩地土壤盐碱化呈明显的水平和垂直分带现象。在横向上,一般由滩地边缘至中心随着地下水位埋深逐渐变浅,土壤由非盐碱地渐变为轻盐碱化、中盐碱化和重盐碱化;在垂直方

向上,由于蒸发强烈,土壤易溶盐成分由下而上氯化钠含量逐渐增高,碳酸盐含量逐渐降低,含盐量逐渐增加。

表2 陕北风沙滩地区土壤盐碱化程度划分

Table 2 Division of soil salinization degree in the blown-sand region of Northern Shaanxi Province

盐碱化等级 Salinization gradation	0~20 cm 深土壤含盐量/ (g·kg ⁻¹) Mean soil salinity from surface to 20 centimeters down	地下水位埋深/m Buried depth of groundwater table	植物生长情况 Plant growth	地表盐霜特征 Characteristic of salt rust on the surface
轻盐碱化 Light salinization	0.5~1.5	1.0~1.5	对各类豆科作物生长有轻微抑制作用 Growth of different legume crops is inhibited lightly	地表可见斑状盐霜分布 There is spot salt rust on the surface
中盐碱化 Medium salinization	1.5~2.5	0.5~1.0	对各类豆科作物有明显抑制作用,幼苗枯黄,对玉米、高粱均有一定的抑制作用 Growth of different legume crops is inhibited obviously and that of <i>Zea mays</i> and sorghum is inhibited lightly, the seedlings wither and become yellow	地表遍布盐霜 There is large amount of salt rust on the surface all around
重盐碱化 Heavy salinization	>2.5	<0.5	植物生长受到抑制,缺苗率大于60%,局部为盐荒地 Growth of different crops is inhibited seriously, the percentage of shortage seedlings is greater than 60 percent, there are barren salt lands in local sectors	地表盐霜厚2~4 cm,局部见盐结皮 There is salt rust from 2 centimeters to 4 centimeters on the surface in thickness, even salt incrustation

通过上述地下水位埋深与植被生长、河湖基流量及土地荒漠化间关系的综合研究,得到陕北风沙滩地区生态环境与地下水位埋深的关系见表3。从表3可以看出,陕北风沙滩地区地下水位埋深小于1.5 m 为盐渍化水位埋深,1.5~3 m 为最佳地下水位埋深,3~5 m 为乔灌木承受地下水位埋深,5~8 m 为警戒地下水位埋深,8~15 m 为乔木衰败地下水位埋深,大于15 m 为乔木枯梢地下水位埋深。根据生态安全地下水位埋深的定义,可确定出风沙滩地区生态安全的地下水位埋深为1.5~5 m,这是该区调控地下水位、确定地下水资源开采方式及评价区域地下水可采资源量的基本依据。

以本研究确定的陕北风沙滩地区生态安全地下水位埋深为约束,采用面向生态的区域地下水资源评价理论^[8],以秃尾河流域为例,对流域地下水可采资源进行评价^[15],结果表明:流域不适宜建设集中供水水源地;若按照分散开采、均匀布井方式,当地下水可采资源量为15.525万m³/d时,约占河流基流量(46.04万m³/d)的1/3,可保证流域的生态安全,河流基流量减少约7.86%;若地下水可采资源量超过河流基流量的1/3,将危及流域生态安全。根据报告,风沙滩地区河流基流总量为321万m³/d,按照1/3的比例,计算出风沙滩地区维持生态安全的地下水可采资源量为107万m³/d。

表3 陕北风沙滩地区地下水位埋深的主要特征

Table 3 Main characteristics of buried depth of groundwater table in the blown-sand region of the northern Shaanxi Province

地下水位埋深名称 Name of buried depth of groundwater table	地下水位埋深/m Buried depth of groundwater table	主要特征 Main characteristic
盐渍化地下水位埋深 Saline buried depth	0~1.5	包气带含水量大,草本植物生物生产量大,乔灌木生长旺盛;包气带盐分积聚,土壤出现不同程度的盐渍化;潜水蒸发强烈,无效蒸发量大;河川基流量稳定,河道生态环境优良;湿地与湖沼发育 Production quantity of herbage is large, also trees and shrubs grow vigorously because of high moisture content in aeration zone; soil exists salinization of different gradation because of accumulation of salt content on the surface; phreatic water evaporates strongly, so its ineffective evaporation is large; base flux of rivers keeps steadily, eco-environment of the rivers is excellent; there also are large and small lakes and wet lands
最佳地下水位埋深 The best buried depth of groundwater table	1.5~3	包气带含水量适中,完全满足植物生理需水,适宜乔灌木生长,草本植物的生物生产量降低,但仍能生长;潜水无效蒸发量减小;河川基流量略有减少,但影响不大 Trees and shrubs grow properly because of suitable moisture content to meet the physiological need of water in aeration zone; production quantity of herbage declines, but herbage can grow; ineffective evaporation of phreatic water declines Base flux of rivers decreases slightly

续表 3 Continued Table 3

地下水位埋深名称 Name of buried depth of ground-water table	地下水位埋深/m Buried depth of ground-water table	主要特征 Main characteristic
乔灌木承受地下水位埋深 Buried depth of groundwater to bear for trees and shrubs	3~ 5	包气带含水量减少, 但基本能满足植物正常生长的生理需水, 草本植物很少出现, 乔木根系主根向下延伸吸收地下水, 无枯梢或秃头现象, 灌木主要吸收包气带浅部含水率相对较高地段的水分; 潜水的无效蒸发很小, 几乎全部被植物吸收利用; 河川基流减少, 部分湿地干涸 Trees and shrubs can grow normally because of moisture content to meet the basic physiological need of water in aeration zone. Trees can imbibe groundwater from main root system extending down; shrubs can imbibe soil water from sectors of relatively high moisture content in subsurface aeration zone. Herbage emerges little. Ineffective evaporation of phreatic water is little; base flux of rivers decreases and parts of wet lands are dry.
警戒地下水位埋深 Buried depth of groundwater to warn	5~ 8	乔灌木虽可忍耐干旱, 但出现生理干旱, 长势不良; 灌木主要吸收包气带剖面较深部含水率较高地段的水分, 乔木主要依靠吸收地下水, 出现枯枝枯梢现象; 潜水停止蒸发; 河川基流急剧减少, 部分支流河道出现断流; 湿地大部分干涸 Trees and shrubs grow unhealthily because of physiological aridity; shrubs imbibe soil water from sectors of relatively high moisture content in relatively deep aeration zone; trees imbibe groundwater, with branches withering; phreatic water stops evaporation; base flux of rivers decreases sharply and parts of their branches are blinding; a majority of wet lands are dry.
乔木衰败地下水位埋深 Buried depth of groundwater to decline for trees	8~ 15	包气带含水量急剧降低, 植物严重退化, 土壤出现沙化现象; 灌木吸收利用包气带深部较低的水分含量, 生长较差; 乔木等吸收地下水困难, 出现衰败, 树高变小或矮灌化, 形成秃头或小老头树, 大部分枯枝枯梢; 河川基流大大减少, 一些河道出现断流, 河道生态环境恶化 Vegetation degrades seriously and soil exists desertification because moisture content declines sharply; shrubs imbibe soil water from sectors of relatively low moisture content in deep aeration zone, with more unhealthy; trees imbibe groundwater difficultly and degrade, some of which become short trees, baldhead, a majority of which branches withers; base flux of rivers decreases more sharply, some of which are blinding, whose eco- environment is deteriorating.
乔木枯梢地下水位埋深 Buried depth of groundwater to wither for trees	> 15	包气带含水量进一步降低, 植物退化死亡, 土壤沙化严重; 乔木主要依靠浅部水平根系吸收包气带水维持生存, 生长显著退化, 绝大部分枯梢死亡; 潜水位以上的包气带大部分为薄膜水, 难以被灌木所利用, 灌木出现衰败, 冠高、冠幅变小; 主要河道断流; 地表植被盖度随着地下水位埋深加大明显降低, 促进风蚀沙化, 导致固定、半固定沙丘活化 Because moisture content declines more sharply, vegetation degrades seriously, even dies and soil exists serious desertification; trees only imbibe subsurface moisture content by horizontal root systems, a majority of which branches withers or dies; shrubs can't use moisture content and degrade because a majority of moisture content is pellicular moisture, with short crown height and crown length; main rivers are blinding; vegetation coverage declines obviously, which promotes desertification and leads to activation of stabilized dunes and semistabilized dunes.

4 结 论

1) 从可持续发展角度考虑, 认为生态安全地下水位埋深是指在干旱半干旱地区, 维系植被的正常生长, 维系河流、湖泊、沼泽(或湿地)正常的生态功能, 且不发生土地荒漠化、水质恶化、地面沉降等生态环境问题的地下水位埋深。

2) 通过风沙滩地区地下水位埋深与植被生长、河湖基流量和土地荒漠化间关系 3 个方面的综合研

究, 确定了该区生态安全地下水位埋深为 1. 5~ 5 m, 这是该区调控地下水位、确定地下水资源开采方式及评价区域地下水可采资源量的基本依据。

3) 以确定的生态安全地下水位埋深为约束, 采用面向生态的区域地下水资源评价理论, 概算出风沙滩地区维持生态安全的地下水可采资源量为 107 万 m³/d, 从而为该区水资源可持续开发利用和生态环境保护提供了科学依据。

致谢: 本文在撰写过程中得到吉林大学曹玉清教授的悉心指导, 在此表示衷心感谢!

[参考文献]

[1] Emilio Custodio. A aquifer overexploitation: what does it mean? [J]. Hydrogeology Journal, 2002(10): 254-277.

[2] De Vries J J. Prediction in hydrogeology: two case histories[J]. Geol Rundsch, 1997, 86: 354-371.

[3] Boutaleb S, Bouchaou L, Mudry J, et al. Hydrogeologic effects on the quality of water in the Oued Issen watershed, western Upper Atlas Mountains, Morocco[J]. Hydrogeology Journal, 2000(8): 230-238.

[4] Babu R P, Subrahmanyam K, Dhar R L. Geoenvironmental effects of groundwater regime in Andhra Pradesh, India[J]. Environmental Geology, 2001, 40(4/5): 632-642.

[5] Maria Vicenta Esteller, Carlos Diaz-Delgado. Environmental effects of aquifer overexploitation: a case study in the Highlands of Mexico [J]. Environmental Management, 2002, 29(2): 266-278.

- [6] Sandra J Zencich, Ray H Froend, Jeffrey V Turner, et al Influence of groundwater depth on the seasonal sources of water accessed by Banksia tree species on a shallow, sandy coastal aquifer[J]. *Oecologia*, 2002, 131: 8-19.
- [7] Gao Q, Yu M, Li C P, et al Effects of groundwater and harvest intensity on alkaline grassland ecosystem dynamics-A simulation study[J]. *Plant Ecology*, 1998, 135: 165-176.
- [8] 王文科. Research on ecology-oriented groundwater in Northwest of China[C]//李佩成, 王文科, 裴先治. 中国西部环境问题与可持续发展国际研讨会论文集. 北京: 中国环境科学出版社, 2004: 483-491.
- [9] 王文科, 栾约生, 杨泽元, 等. 人类重大工程对格爾木冲洪积扇水资源与生态环境系统的影响研究[J]. *西安工程学院学报*, 2001, 23(2): 6-11.
- [10] 张长春, 邵景力, 李慈君, 等. 华北平原地下水生态环境水位研究[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2003, 33(3): 323-326.
- [11] 王让会, 宋郁东, 樊自立, 等. 塔里木流域“四源一干”生态需水量的估算[J]. *水土保持学报*, 2001, 15(1): 19-22.
- [12] 盖美, 耿雅冬, 张鑫. 海河流域地下水生态水位研究[J]. *地域研究与开发*, 2005, 24(1): 119-124.
- [13] 张长春, 邵景力, 李慈君, 等. 地下水位生态环境效应及生态环境指标[J]. *水文地质工程地质*, 2003(3): 6-10.
- [14] 唐克旺, 王浩, 刘畅. 陕北红碱淖湖泊变化和生态需水初步研究[J]. *自然资源学报*, 2003, 18(3): 304-309.
- [15] 杨泽元. 地下水引起的表生生态效应及其评价研究——以秃尾河流域为例[D]. 西安: 长安大学, 2004.

Research on buried depth of eco-safety about groundwater table in the blown-sand region of the Northern Shaanxi Province

YANG Ze-yuan¹, WANG Wen-ke¹, HUANG Jin-ting^{1,2}, DUAN Lei¹

(1 School of Environment Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

2 Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: On the basis of field investigation and synthetic analysis, a notion of buried depth of eco-safety on groundwater table was put forth from the point of sustainable development. The relation between buried depth of groundwater table and vegetation growing, and rivers and lakes, and land desertification was discussed, and then range of buried depth of eco-safety on groundwater table, 1.5-5 meters, was determined in the blown-sand region of northern Shaanxi Province. Moreover by ecology-oriented regional groundwater resource assessment theory, taking the range of buried depth as a constraint, the allowable withdrawal of groundwater, $107 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, was estimated in the region.

Key words: the blown-sand region of Northern Shaanxi Province; buried depth of eco-safety on groundwater table; vegetation; base flux of rivers; base flux of large and small lakes; land desertification