

# 青藏高原不同海拔矮嵩草蛋白质、脂肪和淀粉含量的变异

韩发 贲桂英 师生波

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

**摘要** 生长在青藏高原4个不同海拔地区的矮嵩草(*Kobresia humilis*), 其蛋白质、脂肪和碳水化合物的含量有明显差异。其中海拔最高的大坂山(4,000m)植株中蛋白质含量平均比海拔依次较低的金羊岭(3,800m)、海北站(3,200m)和西宁地区(2,200m)的分别高出9.9%、17.3%和39.4%;脂肪含量平均分别高出7.1%、77.8%和106.0%;淀粉含量也平均分别高出2.4%、21.6%和32.7%。同时表明,海拔高度对上述若干生化成分含量的季节性动态变化均有明显的影响。从而显示,高海拔地区的植物所以具有较强的抗寒性和适应逆境胁迫的能力,是与体内蛋白质、脂肪和碳水化合物(淀粉)的大量积累增加密切相关。

**关键词** 高山植物 抗逆性 蛋白质 脂肪 淀粉

## CONTENTS OF PROTEIN, FAT AND STARCH OF KOBRESIA HUMILIS PLANTS GROWN AT DIFFERENT ALTITUDES IN QINGHAI-XIZANG PLATEAU

Han Fa, Ben Guiying and Shi Shengbo

(Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of Sciences, Xining, 810001)

**Abstract** In this paper, the contents of protein, fat and starch were compared among *Kobresia humilis* plants grown at different altitude in Qinghai-Xizang plateau (Daban Mountain, 4,000 m a.s.l.; Jinyang Mountain, 3,800 m a.s.l.; Haibei station, 3,200 m a.s.l.; Xining, 2,200 m a.s.l.). The results show that some biochemical component in aboveground and below ground tissues of the plants tended to increase with increasing altitude. As compared with those plants in Jinyang Mountain, Haibei Station and Xining, on average, the plants grown at Daban Mountain had a higher protein content by 9.9%, 17.3% and 39.4%, a higher fat content by 7.5%, 77.8% and 106.8%, and a higher starch content by 2.4%, 21.6% and 32.7%, respectively. It is clear that altitude had effects on the seasonal changes of the contents of some biochemical components.

The results suggest that the stronger frost resistance of the plants located at a higher altitude are associated with their stronger synthesis of the protein, fat, starch and related substances.

本文于1995-04-18收稿, 1995-08-14收到修改稿。

中国科学院北海高寒草甸生态系统定位站基金及西北高原生物研究所所长基金资助项目。王为义、张树源、武海、贾小红等同志参加部分野外工作, 在此一并致谢。

**Key words** Alpine plants, Stress resistance, Protein, Fat, Starch

生长在高原地区的植物,特别是生长在青藏高原高山环境中的植物长期经受着高寒缺氧,强烈的太阳辐射,大量的紫外线,低二氧化碳和干旱强风等生态因素以及急剧的气候变化的严重胁迫。但是,它们仍然能够在这种严酷的生境条件下适应、生存和发展。尤其令人吃惊的是,很多高山植物不仅在营养生长期,而且在生殖生长期,都具有很强的忍受低温寒冷的能力。

植物的抗寒性是植物对低温寒冷环境的长期适应中通过本身的遗传变异和自然选择获得的一种抗寒能力或适应性反应 (Levitt, 1980; Sakai *et al*, 1987)。在小麦,苜蓿和马铃薯等植物中已经证实,植物为了在低温寒冷的环境中生存,在低温锻炼过程中,蛋白质,碳水化合物,核酸和脂类等代谢物质,都会发生生物化学变化,参与抗冻性的生理过程,在寒冷环境下都具有保护作用,并与抗寒性成正相关(何若韞, 1986; 王荣富, 1987; 陈志强等, 1994; Sarhan *et al*, 1987)。近年来,许多学者研究发现,青藏高原的高山植物,为了适应高原严酷的生态环境,在形态、构造上发生了一系列适应生存的变化,其中植物学特征、生物学特性包括形态-生态学特点都表现出多方面的特异性(王为义, 1990; 周兴民, 1979; 1982; 周广泰等, 1992; 李渤生等, 1982)。在外部形态与内部结构之间,结构与功能之间,为适应高寒环境表现出高度的综合统一(王为义, 1990)。然而,青藏高原高山植物抗寒性或适应性的生理生态学研究迄今未见报道。据此,本文以广泛分布于青藏高原不同海拔地区的耐寒植物——矮蒿草 (*Kobresia humilis*) 为对象,对其抗寒的若干生理生化指标和抗寒性进行了比较研究。目的在于探讨植物对长期极端高寒低温逆境适应性的生理基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本试验区位于青藏高原东部,约占北纬 36°35' ~ 37°45', 东经 101°12' ~ 101°35'。平均海拔高度在 2,200~ 4,000m 之间,该地区的气候概况见前文报道(韩发等, 1995)。

供试材料为矮蒿草 (*Kobresia humilis*), 它们分别采自海拔 4,000m 的大坂山; 3,800m 的金羊岭; 3,200m 的中国科学院海北高寒草甸生态系统定位观测站(以下简称海北站)和 2,200m 的西宁地区。西宁的矮蒿草是从海北站移植到本所试验地内正常生长 4 年的移植材料。在矮蒿草的返青后期 6 月下旬; 草盛中期 7 月下旬; 草盛后期 8 月下旬和枯黄期 9 月底,分别从各地采样,带回室内,尽快用水冲洗干净植株,并分为地上部(茎叶)和地下部(根),置于 105℃ 烘箱中烘 5 分钟,迅速杀死组织,再在 70℃ 烘干至恒重后作为蛋白质、脂肪和淀粉含量测定样品,试验为 3 次重复,数据取其平均值。同时,观测植物产地的太阳辐射、气温、土温和大气湿度等项参数。

### 1.2 测定方法

试验地区太阳辐射强度用 LR-188B 型量子/辐射/照度计测定; 气温和大气相对湿度用 WHM 1 型温湿度表进行测定; 蛋白质含量的测定按照 Kemp 和 Sutton (1971) 的方法提取样品,用 Bradford (1976) 方法测定总含量; 脂肪含量按照索氏 (Soxhlee) 提取法测定; 淀粉含量参照华东师范大学生物系 (1980) 方法测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 蛋白质含量的变化

实验结果表明, 在 4 个不同海拔高度地区矮嵩草蛋白质含量的变化与海拔高度的关系较为密切。如图 1 所示, 7 月底, 矮嵩草地上和地下组织的蛋白质含量随着海拔高度的升高呈增加趋势, 其中生长在海拔 4, 000m 处的矮嵩草蛋白质含量最高, 地上部为 6.6%, 地下部为 10.9%; 海拔 3, 800m, 3, 200m 和 2, 200m 的含量相应为 5.9%, 9.8%, 5.5%, 9.4% 和 5.4%, 6.8%。从中看出, 海拔高度对矮嵩草蛋白质含量均有明显的影响, 尤其高海拔对根和茎叶组织中蛋白质含量的合成积累有较大程度的促进作用。如果以海拔相对较低的西宁为对照, 与海北站、金羊岭和大坂山相比, 根和茎叶中的蛋白质含量依次提高了 22.1%, 28.7% 和 43.4%。发现蛋白质含量的增加规律与海拔高度的变化基本一致, 与不同海拔地区的矮嵩草所表现的耐寒特性是吻合的。这表明不同海拔地区矮嵩草的抗寒性与蛋白质含量的增加程度可能密切相关, 因为矮嵩草随着产地海拔的升高, 气温和土温的降低, 而蛋白质含量增加, 其抗寒性明显增强。这点与潘杰等 (1994) 所指出的关于冬小麦的抗寒性与蛋白质含量相关的情况相似。这可能是植物对严酷环境的一种适应能力。

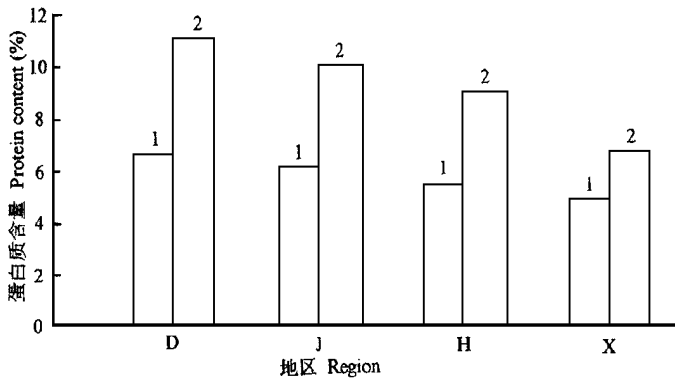


图 1 草盛期不同海拔高度地区矮嵩草蛋白质含量的差异

Fig 1 Difference of protein content in *K. humilis* at different altitude during exuberance

1. 叶和茎 Leaves and stems 2. 根系 Roots

D. 大坂山 Daban Mt (4, 000m) J. 金羊岭 Jinyang Mt (3, 800m)

H. 海北站 Haibei station (3, 200m) X. 西宁 Xining (2, 200m)

在生长季, 矮嵩草地上生物量季节动态变化是从返青期到枯黄期比其它植物较早地呈现低-高-低的变化趋势 (杨福国等, 1988)。然而, 蛋白质含量的季节性动态与生物量的变化规律不尽相同, 如图 2 所示, 随着海拔高度、生长季和生育期的进程, 蛋白质含量的变化表现各异。首先, 在不同海拔之间其含量存在显著差异, 无论在返青期或草盛期, 高海拔矮嵩草的蛋白质含量始终高于相对较低海拔的含量。其次, 4 个不同海拔地区植株地下组织的含量均明显高于地上组织的含量, 值得注意的是, 高海拔植株地下和地

上组织的蛋白质含量高, 增加幅度大, 低海拔的含量低, 增加幅度小, 另外, 从蛋白质含量的季节性动态看出, 在大坂山和金羊岭, 6 月份时根中的含量高于 7 月份的含量, 7 月份的含量较低, 9 月底最高。茎叶组织中 6 月份的含量较低, 8 月下旬最高, 10 月初有所下降, 在 西宁和 海北站地区, 蛋白质含量最大值或低谷的出现有所提前。因此, 在 某一个相同季节或整个生长季节中, 不同地区植株中蛋白质含量差异的出现可能与植物的物候和生长季节变化有关, 更重要的是与海拔高度对植物不同生长发育阶段的影响程度有关。表明矮蒿草蛋白质含量的季节性动态差异, 相同季节同一组织中含量的差异可能主要是海拔高度所致。特别是高海拔矮蒿草蛋白质含量的显著增加可能是它适应高寒低温等逆境条件的重要原因。

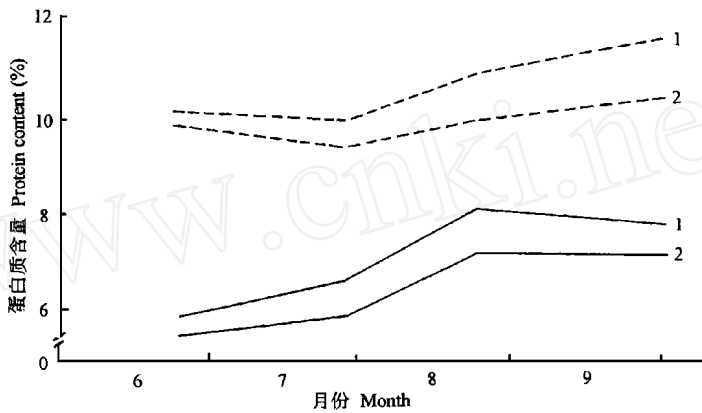


图 2 不同海拔高度地区矮蒿草地上组织和地下组织蛋白质含量的季节性变化

Fig. 2 Seasonal changes of protein content of aboveground and belowground in *K. humilis* at different altitude

— 叶和茎 Leaves and stems - - - 根系 Roots

1. 大坂山 Daban Mt 2. 海北站 Haibei station

## 2.2 脂肪含量的变化

从图 3 看出, 生长在海拔 4,000m 处的矮蒿草脂肪含量比生长在海拔 3,800m、3,200m 和 2,200m 处的分别平均提高了 7.6%、78.1% 和 106.0%。其中地上组织的含量分别增加了 4.2%、85.2% 和 110.0%; 地下组织的含量分别增加了 9.9%、70.8% 和 102.0%。表明高海拔地区矮蒿草的脂肪含量比低海拔的增加显著, 这种现象在其它植物中也已看到 (Grenier *et al.*, 1974; Timothy *et al.*, 1978)。

从图 4 可以看出, 不同海拔地区的矮蒿草, 根系或茎叶组织中脂肪含量的季节动态并不是一成不变, 随着海拔高度, 植物生长发育和气候条件的变化, 不同区间脂肪含量各不一样。如从 6 月份开始, 矮蒿草的生长速率加快, 光合作用逐渐增强, 光合产物积累增多, 因而植株体内脂肪含量的形成和积累也随之不断加强, 至 8 月底, 体内脂肪含量的积累达到最高, 此后又出现下降趋势, 但是由于受海拔高度的影响, 相同季节、相同生育期之间, 同一组织脂肪含量的差异并不亚于体内蛋白质含量的差异。如图 4 指出, 尽管返青期高海拔和低海拔的含量都比草盛期的低, 但从中可以看出, 6~9 月份, 生长

在海拔 4, 000m 处的矮嵩草其地上和地下组织的脂肪含量与海拔 3, 200m 处的比较, 始终保持了一个比较高的水平, 这可能与海拔升高, 气温降低直接有关, 并可能这对提高矮嵩草的抗冻性具有重要意义。

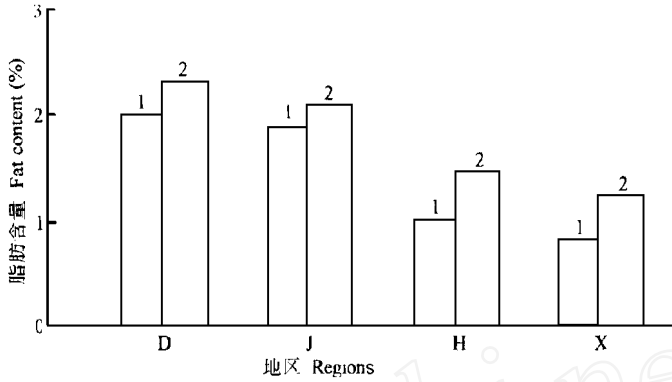


图 3 草盛期不同海拔高度地区矮嵩草脂肪含量的差异

Fig. 3 Difference of fat content in *K. humilis* at different altitude during exuberance

1. 叶和茎 Leaves and stems 2 根系 Roots

D. 大坂山 Daban Mt (4, 000m) J. 金羊岭 Jinyang Mt (3, 800m)

H. 海北站 Haibei station (3, 200m) X. 西宁 Xining (2, 200m)

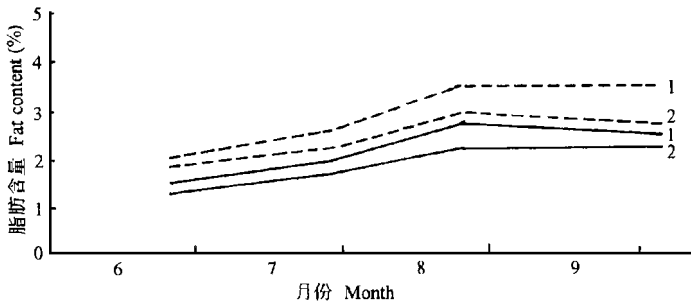


图 4 不同海拔高度地区矮嵩草地上组织和地下组织脂肪含量的季节性变化

Fig. 4 Seasonal changes fat content of aboveground and below ground in *K. humilis* at different altitude

—叶和茎 Leaves and stems - - -根系 Roots

1. 大坂山 Daban Mt 2 海北站 Haibei station

### 2.3 淀粉含量的变化

试验结果表明, 由于海拔高度的差别, 矮嵩草不同组织中合成积累的淀粉含量不同, 在不同生育期同一组织中的含量也不同。

从图 5 看出, 不同组织之间, 地上部的淀粉含量较地下部的含量低, 地上茎叶组织中, 以海拔 4, 000m 处的淀粉含量最高, 3, 800m 处的次之, 3, 200m 的居中, 2, 200m 的较低, 即前 3 者分别比后者依次增加了 25.6%, 18.5% 和 7.3%。同样, 地下组织中, 尤以海拔 4, 000m 和 3, 800m 处的含量最高, 3, 200m 处的居中, 2, 200m 处的明显降低。前

3 者分别比后者增加了 39.9%，41.3% 和 10.8%。因此，4 个不同海拔地区矮嵩草淀粉含量的差异表明，高海拔植株的淀粉含量均大于低海拔的含量。

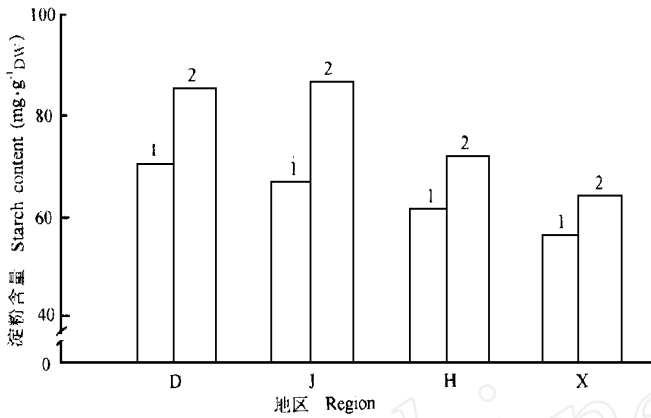


图 5 草盛期不同海拔高度地区矮嵩草淀粉含量的差异

Fig. 5 Difference of starch content in *K. humilis* at different altitude during exuberance

1. 叶和茎 Leaves and stems 2 根系 Roots

D. 大坂山 Daban Mt (4000m) J. 金羊岭 Jinyang Mt (3800m)

H. 海北站 Haibei station (3200 m) X. 西宁 Xining (2200m)

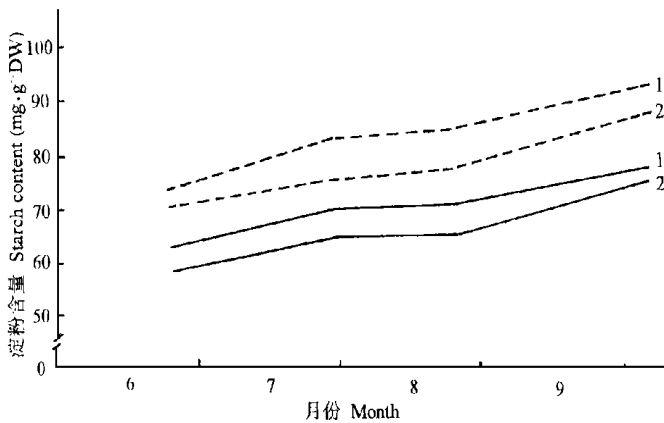


图 6 不同海拔高度地区矮嵩草地上组织和地下组织淀粉含量的季节性变化

Fig. 6 Seasonal changes of starch content of aboveground and below ground in *K. humilis* at different altitude

—叶和茎 Leaves and stems - - -根系 Roots

1. 大坂山 Daban Mt 2 海北站 Haibei station

从淀粉含量的季节性动态变化看出 (图 6)，6 月份，矮嵩草的淀粉含量较低，此后逐渐增加，到 8 月底，含量明显增加，9 月份出现下降趋势。从整个生长季的趋势来看，植株中淀粉含量差异的大小与生长季的变化有关。同时明显受着海拔高度的影响，例如，在不同生长期，高海拔植株中含量的增加幅度明显大于较低海拔的含量积累。这与张树源等 (1987) 关于垫状植物抗寒性的研究报道一致。可见，高海拔地区植株体内含有较

多的碳水化合物, 这是高寒植物独具特色的一大特征, 这不仅为植物的物质代谢和蛋白质、脂肪和其它物质的合成提供了充足的能源和基本原料, 同时, 为提高植物的抗寒力提供了生理基础。

### 3 讨论

从上述分析, 我们可以清楚看出, 生长在青藏高原不同海拔地区的矮嵩草其蛋白质、脂肪和淀粉含量具有明显差异, 高海拔植株的蛋白质、脂肪和淀粉的含量比低海拔的含量增加显著。同时发现, 地下组织的 3 种成分含量均极明显高于地上部的含量。说明高寒地区矮嵩草地下组织的营养成分含量占很大比例, 近似于地上含量的 1~3 倍, 这是高海拔植物适应高寒生态环境的一个重要特征。从图 2、4、6 可知, 根和茎叶中营养成分含量的季节性动态变化差异是植物生育期、生长季节和海拔高度综合影响的结果。海拔高度对蛋白质、脂肪和淀粉含量的季节性动态变化均有不同程度的影响。其中海拔高度的影响效果尤为明显。这些变异性或差异性除与自然条件相关外, 主要是长期生长在高寒生境条件下的矮嵩草, 为适应其高原特殊生态环境而产生的特异性适应性变异。这与植株体内若干生理生化变化和特点是统一的。高海拔地区的低温, 干旱和疾风等因素严重限制了植株的生长和发育。但是, 这里辐射强烈, 日照丰富, 昼夜温差大, 有利于植物体内有机质的合成和贮藏。从而大大提高了植物的抗逆能力, 防止避免或减少了环境胁迫的伤害, 保护了它们的生存和繁衍。(王勋陵, 1989)。因此, 矮嵩草所以能对高寒低温、缺氧、干旱和疾风等逆境胁迫表现出极强的适应性或抗寒性, 这不仅与它在严酷生境下形成的一系列适应高原逆境的独有特征: 植株低矮(仅 3~8cm), 根系短浅, 平展分布(主要分布在 0~10cm 的土层中, 约占总根量的 85%), 粗壮发达, 叶片栅栏组织紧密层数增多, 角质膜增厚, 通气组织发达等外貌和内部结构有关(王为义, 1985; 王勋陵, 1989), 更重要的是与它生理功能的强化和物质代谢的改善, 即蛋白质、脂肪和碳水化合物含量的增加是分不开的。因为植物体内这 3 种营养成分的含量增加, 会使细胞原生质的浓度提高, 降低冰点, 抵抗冻害, 从而增强抗寒力(简令成, 1990)。

由此可见, 青藏高原不同海拔矮嵩草的上述生化成份含量的变异, 可能主要是由海拔高度影响所致, 高海拔矮嵩草之所以能够适应高寒生境, 抵抗冻害, 并能越过极端寒冷的漫长冬季, 在短暂的生长季内能够完成它的整个生活周期, 是因为它塑造的“三高”特点, 即高蛋白质、高脂肪和高碳水化合物为它极强的抗寒性奠定了坚实的生理生化基础。

### 参 考 文 献

- 王勋陵, 王静, 1989: 植物形态结构与环境, 兰州大学出版社, 105~138。  
王为义, 1985: 高山植物结构特异性的研究, 高原生物学集刊, 第 4 集, 20~30。  
王为义, 黄荣福, 1990: 垫状植物对青藏高原高山环境形态-生态学适应性的研究, 高原生物学集刊, 第 9 集, 13~26。  
中央人民广播电台科技组, 1981: 揭开世界屋脊的奥秘, 地质出版社, 4~91。

- 王荣富, 1987: 植物抗寒指标的种类及其应用, 植物生理学通讯, 3: 49~ 55。
- 华东师范大学生物系, 1980: 植物生理学实验指导, 人民教育出版社, 145~ 150。
- 何若蕻, 1986: 植物生理生化进展, 科学出版社, 第5期。
- 刘祖祺、张石城, 1994: 植物抗性生理学, 中国农业出版社, 1~ 80。
- 李勃生、张经炜、王金亭、陈伟烈, 1982: 西藏高山冰缘植被的初步研究, 植物学报, 23 (2) 132~ 139。
- 杨福国、王启基、史顺海, 1988: 矮嵩草草甸生物量季节动态与年间动态, 高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集, 61~ 70。
- 陈志强、许春辉、陈梦菁、徐黎、王可玢、林世青、匡廷云, 1994: 低温锻炼对小麦类囊体膜脂蛋白的影响, 植物学报, 36 (6) 423~ 429。
- 张石城, 1990: 植物的抗寒生理, 北京农业出版社。
- 张树源、白雪芳、马章英, 1987: 3种垫状植物基础抗寒生理的比较, 高原生物学集刊, 第6集, 165~ 170。
- 周兴民, 1979: 青藏高原嵩草属 (*Kobresia*) 8种植物的形态-生态学特性的初步研究, 植物学报, 21 (2) 1~ 3。
- 周兴民, 1982: 青藏高原嵩草 (*Kobresia*) 草甸的基本特征和主要类型, 高原生物学集刊, 第1集, 151~ 161。
- 周广泰、刘风琴、韦梅琴, 1992: 青海高寒地区50种植物解剖特点的研究, 全国高原植物生理学术讨论会论文摘要汇编, 45~ 46。
- 周广泰, 1992: 青海高山植物解剖特点的研究, 青海师范大学学报, 4: 45~ 60。
- 韩发、贲桂英、张树源、师生波、武海, 1995: 青藏高原植物抗逆性的生理生化基础研究。II. 矮嵩草 (*Kobresia humilis*) 叶片过氧化物酶和酯酶同工酶及酶活性对不同海拔高度的反应, 高寒草甸生态系统, 第4集, 47~ 54。
- 简令成, 1990: 植物抗寒性的细胞及分子生物学进展, 细胞生物学进展, 2: 296~ 320。
- 潘杰、简令成、钱迎倩, 1994: 小麦抗寒力诱导过程中特异性蛋白质的合成, 植物学集刊, 第7集, 144~ 158。
- Bradford, M. M. , 1976: A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72: 248~ 254
- Grenier G. , Willemet C. , 1974: Lipid changes in roots of frost hardy and less hardy alfalfa varieties under hardening conditions. *Crop Biology*, 11 (4) 324~ 331.
- Kemp J. D. and Sutton D. W. , 1971: Protein metabolism in cultured plant tissues: calculation of an absolute rate of protein synthesis, accumulation and degradation in tobacco callus in vivo. *Biochem.*, 10: 81~ 88
- Levitt J. , 1980: Responses of plants to environmental stresses, Academic Press New York, 1: 497.
- Sarhan F. and M. Perras, 1987: Accumulation of a high molecular weight protein during cold hardening of wheat. *Plant Cell Physiol.*, 28: 1173~ 1179.
- Sakai A. and Larcher W. , 1987: Frost Survival of plant Springer Berlin, P. 321.
- Timothy R. , 1978: *Plant Physiol.*, 61: 472~ 473