



## PROVET I BIOLOGI 11.3.2015 BESKRIVNING AV GODA SVAR

De beskrivningar av svarens innehåll och poängsättningar som ges här är inte bindande för studentexamensnämndens bedömning. Censorerna beslutar om de kriterier som används i den slutgiltiga bedömningen.

Biologin är en naturvetenskap som undersöker strukturen, funktionerna och interaktionsförhållandena inom den levande naturen i biosfären, och den sträcker sig ända till cell- och molekylnivån. Insikt i frågor och fenomen som rör människans biologi spelar också en central roll. Typiskt för biologin som vetenskap är insamling av information genom observationer och experiment. Biovetenskaperna är snabbt växande vetenskapsgrenar vars tillämpningar utnyttjas på många sätt i samhället. Biologin för fram ny information om mångfalden i den levande naturen och uppmärksammar inverkan av mänsklig aktivitet på miljön, säkerställer det av naturens mångfald samt främjandet av en hållbar utveckling.

I studentexamensprovet i biologi bedöms hur utvecklad examinandens biologiska tänkesätt och kunskap är, samt examinandens förmåga att presentera de saker som krävs i rätt sammanhang på ett strukturerat sätt. I provet bedöms examinandens förmåga att beakta växelverkan mellan företeelser och förhållandet mellan orsak och verkan. Förutom behärskandet av grundläggande begrepp och företeelser bedöms också examinandens förmåga att tolka bilder, figurer, statistik och aktuell information samt att motivera sitt svar. Ett gott svar behandlar företeelser mångsidigt och förser dem med exempel. Ett gott svar är baserat på fakta och inte på omotiverade åsikter. I ett gott svar presenteras tabeller, övrig data och illustrationer på ett överskådligt sätt.

## Uppgift 1

### a) 2 p.

- Cyanobakterierna blev allmänna under prekambrium (1).
- Trilobiter blev allmänna under kambrium (2).
- Mossorna representerar de första landväxterna under livets gamla tid (silur, 3) då livet tog sig upp på land.
- Dinosaurierna (kräldjur) och andra egentliga landlevande ryggradsdjur blev allmänna under livets medeltid (4).
- Hästjuren och andra nulevande däggdjur utvecklades under livets nya tid (5).

### b) 4 p.

Hos växter krävs för ett liv på land (t.ex. konkurrens om ljus och utrymme) stödstrukturer och ett transportsystem (ledningssträngar) för upptagning av vatten och näringsämnen, ett effektivt rotsystem och ett ytskikt som förhindrar vattenavdunstning. Fröämnena, fröna, pollenkornen och spörväxternas sporer tål uttorkning. (Hos mossor och andra spörväxter kräver den könliga förökningen (spermiecellernas rörelse) fortfarande vatten.)

*[Fyra centrala fakta presenterade, 2 p.]*

Hos djuren utvecklades först ett yttre skal som fungerade som stödstruktur, och senare ett inre skelett (ryggsträngsdjur). Hos landlevande ryggradslösa djur förhindrar det yttre skalet avdunstningen av vatten och därmed uttorkning av djuret. På motsvarande sätt skyddar kräldjurens fjälliga hud mot uttorkning och UV-strålning. Olika former av hudskydd mot UV-strålning, mot uttorkning och för att upprätthålla jämnvarmhet (fjäderdräkt, päls, svettkörtlar) utvecklades. Extremiteterna underlättade rörelse på land.

Lungorna, som möjliggör upptagning av syre ur luften, etablerades som andningsorgan hos de landlevande ryggradsdjuren. Hos kräldjuren och fåglarna garanterar de skalbeklädda äggen samt generellt den inre befruktningen skydd mot uttorkning av könscellerna och en skyddad utveckling för embryona.

*[Fyra centrala fakta presenterade, 2 p.]*

## Uppgift 2

1. Epidermis (ytskiktet) skyddar och omger hela växten. Epidermiscellerna innehåller oftast inte kloroplaster. Speciellt hos växter som växer på torra platser finns ett vaxlager på ytvävnaden för att minska vattenavdunstning.
2. Palissadparenkymet (fotosyntetiserande vävnad) innehåller det största antalet kloroplaster och utgör därmed växtens viktigaste fotosyntetiserande vävnad. Palissadparenkymet finns oftast under ytskiktet på bladets ovansida, eftersom ljusstrålarna då bäst når kloroplasterna, där det produceras glukos för hela växtens behov med hjälp av solljus, vatten och koldioxid. Samtidigt frigörs syre ur cellerna.
3. Läppceller/klyvöppningar, strukturer som specialiserats ur epidermis, och som ofta finns på bladets undersida. Klyvöppningarna, som består av läppcellerna, stängs på natten och i torra förhållanden. Klyvöppningarna möjliggör gasutbytet ( $O_2$ ,  $CO_2$ ). Via klyvöppningarna transporteras överblivet syre och vattenånga ut ur bladet och koldioxid in i bladet.
4. Bladnerv/ledningssträng, i vars veddel (xylemdel) näringsämnen och vatten transporteras till bladet. Fotosyntesprodukterna transporteras lösta i vatten i bladnervens floemdel till andra delar av växten.

*[För varje rätt namngiven del samt två beskrivna centrala uppgifter, 1,5 p.]*

## Uppgift 3

**a) 2 p.**

1. Kromosom: punkterna c och e. Även punkt d är rätt, eftersom den visar två kromosomer.
2. Kromatintråd: punkterna a och b
3. Kromatid (systerkromatid): punkterna f och g
4. Homologt kromosompar: punkt d

**b) 4 p.**

En **kromosom** är en bandlik tråd som består av DNA och proteiner, som packats till en stavlik struktur med en viss storlek. På den sitter bestämda gener. Varje art har ett bestämt antal kromosomer, vars inbördes storlek och armlängd varierar. Kromosomerna blir synliga i mikroskop under förstadiet (profasen) i mitosen och meiosen. Centromeren utgör kromosomens mittpunkt (där spoltrådarna fäster sig).

Med **kromatintråd** avses den tunna trådlika arvs massa bestående av DNA och proteiner (histoner) som finns i cellkärnan under cellcykelns mellanfas (interfasen). (Kromatintrådar kan inte urskiljas separat på ljusmikroskopbilder).

En **kromatid (systerkromatid)** är den ena halvan av en kromosom som fördubblats under interfasen före celledelningen. Halvorna (f och g) kallas systerkromatider. Under själva celledelningen (anafasen) bildas dotterkromosomerna av kromatiderna då centromeren delas.

Ett **homologt kromosompar** bildas av de två sinsemellan motsvarande kromosomerna som nedärvt från vardera föräldern, på vilka bestämda genloci, och därigenom också allelerna för bestämda gener, sitter. Homologa kromosomer förekommer i diploida ( $2n$ ) celler.

*[Två centrala egenskaper presenterade för varje struktur, 1 p.]*

#### Uppgift 4

- Variation i allelerna som bestämmer färg möjliggör färgvariationerna hos fröna.
- Ur växtens synvinkel fungerar färgen som skyddsfärg. Fåglar och andra organismer som äter frön upptäcker lättare frön vars färg avviker från färgen på jordmånen.
- Genom att fröna äts ('fröpredation') sker ett riktat urval då bara de frön vars färg påminner om jordmånen blir kvar på respektive växtplats.
- På grund av detta bildas populationer med en fröfärg som skiljer sig från varandra.
- Då det sker genflöde mellan populationerna (t.ex. då alleler för en avvikande färg transporteras till en population från en annan med pollen eller då frön transporteras till en ny population) koncentreras selektionstrycket mot de nya allelerna.
- Den ovan beskrivna mikroevolutionen kan främja artbildning (även om det inte skett hos denna art).

*[För varje ovan nämnd punkt, 1 p.]*

#### Uppgift 5

a) 2 p.

**Strukturer:** 1 njurmärg/njurpyramid, 2 njurbark, 3 njurbägare, 4 njurbäcken, 5 urinledare, 6 njurartär

b) 4 p.

##### Struktur 1

Njurmärgen (njurpyramiderna) innehåller njurtubuli (proximala tubuli, inklusive Henles slingor), vilkas uppgift är att kontrollera mängden och koncentrationen på urinen som avsöndras och upprätthålla kroppens osmotiska balans. Tubulisystemet deltar också i regleringen av kroppens pH. I de proximala tubuli återabsorberas nödvändiga ämnen (t.ex. vatten, oorganiska natrium- och kaliumjoner, aminosyror, glukos, vitaminer, protoner) via de omgivande kapillärerna. På grund av återabsorptionen är mängden urin som utsöndras bara ca 1 procent (1 %, ca 1,5 liter/dygn) av den utsöndrade primärurinen.

*[2 p.]*

I njurmärgen löper även samlingsrören där den slutgiltiga koncentreringen av urinen sker under påverkan av antidiuretiskt hormon (ADH, vasopressin) som utsöndras av hypofysen. ADH stimulerar återupptagningen av vatten ur samlingsrören tillbaka till blodomloppet. Samlingsrören leder (den slutliga) urinen till njurbägare därifrån den förs vidare till njurbäckenet.

*[1 p.]*

##### Struktur 2

Njurbarken innehåller njurkropparna (som består av ett kapillärnystan (glomerulus) samt en Bowmans kropp) där primärurinen filtreras ur blodets plasma. Det höga blodtrycket i njurartären driver filtreringen. I normala fall hindrar njurkroppens byggnad blodkroppar och proteiner från att komma ut i primärurinen.

*[1 p.]*

## Uppgift 6

a) 3 p.

**Släkträd C** representerar mitokondriell nedärvning eftersom egenskapen i fråga nedärvs från moder nr 7 till alla hennes barn, men inte till hennes sons (12) barn. På motsvarande sätt har alla arvingar till moder nr 10 sjukdomen.

**Släkträd B** representerar dominant autosomal nedärvning, eftersom sjukdomen förekommer i alla de generationer som följer stamfader nr 4 i medeltal åtminstone hos hälften av arvingarna. Sjukdomen nedärvs inte könsbundet utan förekommer både hos flickor och pojkar. Släkträdet kan inte representera dominant X-bunden nedärvning, eftersom fader nr 12 har en sjuk son (17).

**Släkträd A** representerar dominant X-bunden nedärvning, eftersom sjukdomen nedärvs från fader nr 2 till alla döttrar men inte till sonen (6). Sjukdomen nedärvs inte heller från mannen 10 i den tredje generationen till hans söner (18 och 19) utan endast till hans dotter (20). Från mödrarna 4, 7 och 16 nedärvs sjukdomen till både flickorna och pojkarna.

*[Rätt släkträd med tillräcklig motivering, 1 p. för varje punkt]*

b) 3 p.

Med hjälp av DNA-mikrochipteknik kan man ur prover som tagits från patienter undersöka förekomsten av mutationer som orsakar sjukdomar. Med ett DNA-chip (mikrochip) avses en sammanställning av enkelsträngade DNA-prober som i droppform fästs i en bestämd ordning på ett skivlikt underlag. Proberna motsvarar kända gener och genmutationer. Ett chip kan innehålla alla människans gener eller till exempel de muterade generna eller motsvarande gensekvenser som hänger samman med en viss ärftlig sjukdom.

Målet med DNA-chiptekniken är att undersöka vilka av generna på glasunderlaget som hybridiserar med den med fluorescerande (t.ex. rött eller grönt) färgämne märkta komplementär-DNA (cDNA) som framställts ur det prov som tagits från patienten. Patientens cDNA framställs med hjälp av omvänt transkriptas ur budbärar-RNA (eller hela RNA:t) som isolerats ur patientprovet. Om till exempel patientens cDNA som märkts med grön färg hybridiserar med den muterade genen på chipet vet man att patienten bär på den aktuella mutationen.

Fördelen med DNA-mikrochiptekniken är att den möjliggör undersökning av ett stort antal gener på en gång. Med hjälp av denna långt automatiserade teknik kan man snabbt ta reda på om en person bär på en viss mutation eller sjukdomsgen (t.ex. Finlandschipet som har använts då man undersökt finländarnas sjukdomsarb).

*[Tillräcklig beskrivning av metoden och dess tillämpning, principen bakom framställningen av prover, fördelarna med metoden, var och en 1 p.]*

## Uppgift 7

### En grundläggande beskrivning av artär- och vensystemet (2 p.)

- Med hjälp av blodtrycket, som upprätthålls av hjärtat, transporterar artärerna näringsämnen, såsom socker, fetter, aminosyror, vitaminer och spårämnen till vävnaderna för att användas som byggnadsmaterial och för energimetabolin. I artärerna transporteras också syrsatt blod till vävnaderna. Artärernas väggar är tjocka och flexibla och därför hålls blodströmmen jämn, och näringsämnen samt avfallsämnen kommer inte åt att tränga sig igenom dem.
- Syrefattigt och koldioxidhaltigt blod förs bort ur vävnaderna via venerna (undantaget lungartärerna och lungvenerna, där blodets syresituation är motsatt).
- Blodtrycket i venerna är lågt, och blodflödet främjas av klaffarna i blodkärlens väggar i kombination med sammandragningar i benmuskulaturen kring kärlen (muskelrörelser).

### Näringsämnenas transport in i cellerna (2 p.)

- Det arteriella blodtrycket pressar en del av vattnet i blodet samt de ämnen som löst sig i det (blodplasman) genom de tunnväggiga kapillärerna in i vävnadsvätskan mellan cellerna.
- Transportmekanismerna i cellväggen (passiv diffusion, faciliterad diffusion och aktiv transport) möjliggör transporten av näringsämnen ut ur vävnadsvätskan in i cellerna.

### Transport av slaggämnen ur cellerna till venerna (2 p.)

- De uppkomna slaggämnena, som till exempel koldioxid och ammoniumjoner, diffunderar ut cellerna till vävnadsvätskan längs en koncentrationsgradient, och vidare in i de kapillära venösa blodkärlen. (I blodet finns koldioxiden främst i form av bikarbonat). Ungefär 90 % av vävnadsvätskan leds till venkapillärerna och 10 % till lymfkärlen.

## Uppgift 8

### a) 2 p.

Människans längdtillväxt är en polygent kontrollerad egenskap som påverkas av tillväxthormoner, könshormoner och möjligen också av flera andra genetiska faktorer.

Näringsintaget inverkar kraftigt på längdtillväxten. Eftersom människans näringstillgång har blivit bättre under århundradenas gång har också medellängden ökat kraftigt. Stress och brist på sömn (brist på tillväxthormon) bromsar längdtillväxten.

### b) 2 p.

Den naturliga färgen på människans hår samt hårmängden är egenskaper som bestäms polygeniskt (kontrolleras av flera gener) av arvsanlagen. Hårfärgen påverkas av mängden pigment i melanocyterna och av dess kvalitet. Hos unga är hårfärgen ofta ljusare än hos vuxna. Arvsanlagen kontrollerar också hur håret blir grått när människan blir äldre, och likaså kontrollerar de flintskallighet (vilket androgener påverkar). (Albinism, som nedärvs recessivt, hör samman med en störning i melaninpigmentproduktionen, vilket leder till ljust/vitt hår.)

Miljöfaktorer har en mycket liten inverkan på hårfärgen. Extrema förhållanden kan inverka på hårfärgen och leda till att hårmängden minskar (t.ex. kraftigt solljus, undernäring, mediciner, radioaktiv strålning).

### c) 2 p.

Enligt vad vi vet i dag har lungcancer inte någon genetisk bakgrund, men gener som predisponerar för cancer kan påverka dess utveckling.

Miljöfaktorer inverkar kraftigt på utvecklingen av lungcancer. Ämnen som orsakar lungcancer (karcinogener) är bl.a. ämnen som finns i tobakstjära, radon i andningsluften, luftföroreningar, luftburna partiklar och t.ex. asbestfibrer. Passiv tobaksrökning påverkar också utvecklingen av lungcancer. Karcinogenerna orsakar mutationer i cellerna, som kan leda till att de ombildas till cancerceller (proto-onkogener utvecklas till onkogener).

*[I varje del a–c bör genetiska faktorer (1 p.) och miljöfaktorer (1 p.) behandlas.]*

## Uppgift 9

### a) 2 p.

Korsning med påföljande urval är en traditionell förädlingsmetod för växter. I det aktuella fallet görs en korspollinering mellan två former av gran (*Picea abies*), d.v.s. mellan smultrongran och klotgran. Vid pollineringen förs pollenkorn från hankottarna till honkottarnas fröämnen. Som följd av befruktningen utvecklas äggcellerna till frön, från vilka man driver upp plantor. Hälften av plantornas gener härstammar från smultrongranen och hälften från klotgranen. Man väljer ut de plantor som har båda de önskade egenskaperna, d.v.s. årsskott som några dagar i början av växtsäsongen lyser klart röda, samt ett buskformigt växtsätt.

(Om man ville föröka punahilkkagranen med hjälp av frön skulle man vara tvungen att fortsätta urvalet tills man hade en ren linje (homozygot). Eftersom det tar årtal för granen att bli tillräckligt gammal för att föröka sig är det i praktiken omöjligt att skapa en ren linje (och även med beaktande av den i uppgiften beskrivna användningen).

*[Beskrivning av principerna för korsningen och urvalet, 1 p. för vardera]*

### b) 4 p.

Könlös förökning av punahilkkagranen kan göras på tre sätt.

#### 1. Cellodling

Man tar celler/vävnadsbitar av utvalda individ, från vilka man odlar fram nya individ i laboratorieförhållanden. Man får de odifferentierade cellerna att differentieras och växa med hjälp av växthormoner. På grund av det könlösa förökningssättet är alla nya individ som produceras kloner av punahilkkagranen, d.v.s. alla uppvisar de ovannämnda egenskaperna (ett klotformat växtsätt och röda årsskott).

#### 2. Ympning

Vedartade växter kan förökas könlöst genom ympning. Vid ympning fogar man en gren som tagits från punahilkkagranen till stammen på en oförädlad vild gran. (Vid ympning fogar man ihop två växtindivid så att deras ledningssträngar åtminstone delvis ligger i kontakt med varandra, vilket möjliggör transport av vatten och näringsämnen. Det är viktigt att binda den ympade grenen hårt och noggrant så att den inte torkar.)

#### 3. Förökning med sticklingar

Unga grenar av punahilkkagranen klipps av och sätts (t.ex. i ett uppvärmt växthus) på ett odlingsunderlag för att rota sig. En rot bildas vid klippstället. Rotningen kan främjas med hjälp av växthormoner.

*[Beskrivning av två sätt av könlös förökning, vardera 2 p.]*

*Märk: Förädling med hjälp av haploider baserar sig på användning av könsceller och är därför inte en metod för könlös förökning.*



## Uppgift 10

- a) Kvävefixerande bakterier får inte sin energi ur kvävgas utan av värdväxten i form av kolhydrater. (Bindning av kväve ur luften frigör inte energi utan förbrukar den.)
- b) Proteiner utgör inte den viktigaste kvävekällan för växterna. Nitrifikationsbakterierna producerar nitrater som tillsammans med ammoniumjoner utgör växternas viktigaste kvävekällor.
- c) Det finns inte fosfor i atmosfären. Fosfor (fosfater) fås ur jordmånens mineraler. (Kvävegödsel kan tillverkas genom att binda kväve ur luften med Haber–Bosch-metoden).
- d) Organiskt material som sjunker till botten frigör inte syre utan förbrukar syre när det bryts ned.
- e) Här är det fråga om intern belastning. Extern belastning kallas den belastning som kommer från avrinningsområdet ut i vattendraget.
- f) Vattnets temperatur (+1 °C) och beskrivningen av vattnets höga näringshalt är felaktiga. Vattnets täthet är störst vid +4 °C, och höstcirkulationen sker när vattnet har svalnat till denna temperatur. Det kalla vattnet som sjunker till botten är inte näringsrikt.

*[För varje rätt behandlad punkt 1 p.]*

## Uppgift +11

### 1. Definition av biobränslen och fossila bränslen (2 p.)

- Biobränslen är bränslen som producerats ur levande eller nyligen dött organiskt material. Energin som erhålls ur dessa kallas bioenergi.
- Med biobränsle avses ofta bränslen (i flytande form eller gasform) som producerats genom raffinering (förädling), men också biomassa som torkats och bränns som sådan (ved, halm, avverkningsavfall m.m.) räknas som biobränslen.
- Fossila bränslen (stenkol, olja, naturgas) har bildats ur resterna av forntida organismer. Fossila bränslen förnyas extremt långsamt.
- Definitionen av torv som fossilt eller förnybart bränsle är en omtvistad fråga.

### 2. Produktion och användning av biobränslen (3–4 p.)

- Som råvara för flytande och gasformiga biobränslen används bl.a. organiskt avfall från jord- och skogsbruket, samhällsavfall, gödsel samt flera odlingsväxter (sockerrör, sockerbeta, raps, rybs, vete, majs, oljepalm).
  - Framställningen av bioetanol baserar sig främst på alkoholjäsning av socker som erhållits ur växtmaterial. Bioetanol används som tillsats i bensin.
  - Biodiesel framställs ur fett- och växtoljebaserade material och kan användas på samma sätt som brännolja.
  - Biogas kan produceras genom nedbrytning av organiskt material under syrefria förhållanden eller genom att förgasa fast material. Biogas produceras t.ex. på avstjälningsplatser och i vattenreningsverk samt i speciella rötningsanläggningar. Biogasens sammansättning varierar beroende på råmaterialet och framställningssmetoden men den består främst av metan. Biogas används för produktion av värme och el, som trafikbränsle (bl.a. i bussar) och parallellt med naturgas i gasnätverk.
  - Biovätgas undersöks som ett nytt bränsle, som man försöker producera till exempel med hjälp av alg- eller bakterieodlingar i bioreaktorer.

### 3. För- och nackdelar med biobränslen jämfört med fossila bränslen (3–4 p.)

- Biobränslen utgör förnybar energi med vilken man kan minska användningen av fossila bränslen och deras kolutsläpp samt i vissa fall även bl.a. deras partikelutsläpp.
- Fossila bränslen utgör en begränsad naturresurs och också av denna orsak bör alternativa energikällor utvecklas.
- I ett gott svar lyfts miljöfrågor och andra problem som gäller framställningen och användningen av biobränslen och fossila bränslen fram, till exempel:
  - Då man bedömer bränslenas miljöpåverkan och betydelse för stävandet av klimatförändringen bör man beakta hela produktionscykeln och logistiken. Om till exempel produktionen av ett biobränsle baserar sig på en råvara som produceras genom åkerodling kan användningen av detta bränsle leda till ökad skogsskövling varvid helhetseffekten av användningen av bränslet i fråga kan vara negativ. Användningen av fossila bränslen är problematisk speciellt med tanke på utsläppen av växthusgaser.
  - Vissa av biobränslen tillverkas av råvaror som lämpar sig som livsmedel (s.k. första generationens biobränslen), vilket kan leda till brist på mat och höja priset på t.ex. spannmål.

*[I punkterna 2 och 3 krävs att 3–4 sakheter behandlas, 1 p. för var och en]*

## Uppgift +12

### 1. Icke-specifika (allmänna, medfödda) grundläggande mekanismer för förhindrande av infektioner (naturlig immunitet) (4–5 p.):

- hudens struktur (ogenomtränglig för mikrober) och funktion (svett, talg, surhet, gynnsam bakterieflora), stoppande av blodflödet och ärrbildning efter sår
- tårvätskans och salivens skyddande funktion, urinens pH och flöde, slidans surhet
- slemhinnornas sekret, flimmerhåren i andningsvägarna, magsäckens och gallans låga pH
- ätarceller (makrofager och granulocyter, främst neutrofila) som transporteras med blodet genom kapillärernas väggar till det infekterade området avlägsnar mikrober genom fagocytos
- feber, som hör till inflammationsreaktionen (utvidgning av blodkärlen, ökningen av blodcirkulationen, kemisk signalering) som orsakas av infektionen, ökar ätarcellernas aktivitet och bromsar bakteriernas tillväxt.

*[I ett gott svar förutsätts att mekanismerna som hör ihop med huden, slemhinnorna, fagocytosen och inflammationsreaktionen behandlas.]*

### 2. Specifika (selektiva, inlärd, förvärvade, lymfocytförmedlade) försvarsmekanismer för förhindrandet av infektioner (4–5 p.):

- T-cellbaserad immunitet:
  - T-cellerna mognar i brässen (thymus) och spelar en central roll speciellt i försvaret mot virus.
  - Cytotoxiska T-celler (mördar-T-celler) förstör kroppens egna celler då de infekterats av virus.
  - T-hjälparceller främjar funktionen hos makrofager och andra celler som hör till försvarssystemet genom att utsöndra cytokiner.
  - Minnes-T-celler reagerar snabbt om samma sjukdomsalstrare på nytt försöker tränga in i kroppen.
- B-cellbaserad (humoral, antikroppbaserad) immunitet:
  - B-cellerna omvandlas till antikroppproducerande plasmaceller då de stöter på en antigen.
  - En del av plasmacellerna omvandlas till långlivade minnesceller som är färdiga att genast producera antikroppar om infektionen förnyas.
  - Antikropparna kan hållas kvar i blodomloppet i månader eller till och med år.
  - Antikropparna effektiviserar bl.a. makrofagernas funktion ("märkning av objektet för fagocytos", opsonisering) vilket försnabbar förintandet av infekterade, antikroppmärkta mikrober och celler; antikropparna kan också främja upplösningen av bakteriernas cellmembran.

*[I ett gott svar förväntas att de T- och B-cellbaserade mekanismerna behandlas.]*